

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Hornicko-geologická fakulta

Morfotektonická analýza povodí Odry

Morphotectonic Analysis of the Odra River Catchment

Bakalářská práce

Autor:

Radek Starý

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Radomír Grygar, CSc

Ostrava 2015

Prohlášení studenta

- Celou bakalářskou práci včetně příloh, jsem vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.
- Byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce.
- Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé bakalářské práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Souhlasím s tím, že bakalářská práce je licencována pod Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported licencí. Pro zobrazení kopie této licence, je možno navštívit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu o komerční využití z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu komerčnímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě dne

.....

Poděkování

Rád bych poděkoval doc. Ing. Radomíru Grygarovi, CSc. za odbornou pomoc, pevné nervy a konzultace při vytváření této bakalářské práce.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá digitální analýzou morfotektonických struktur v prostředí povodí řeky Odry a jejím okolí, prostřednictvím geografických informačních systémů. Cílem bylo analyzovat zvolenou oblast pro odůvodnění a objasnění geomorfotektonických pochodů. Výsledkem práce je analýza závislosti říční sítě ve vybraných oblastech na síti zlomů.

Klíčová slova

GIS; Odra; Opava; Olše; Ostravice; Morava; morfotektonická analýza; povodí; hydrologie; hydrogeologie

Abstract

The bachelor thesis focuses on digital analysis of morphotectonic structures in the Odra river catchment area and its surroundings via geographical information systems. The aim of this work was to analyse the given area for rationalisation and clarification of geomorphological tectonic processes. The catchment dependency of the given area on the fault network is the result of this work.

Key word

GIS; Odra; Opava; Olše; Ostravice; Morava; morphotectonic analysis; catchment; hydrology; hydrogeology

Seznam použitých zkratk

Zkratka	Význam
GIS	Geografické Informační Systémy
DMR	Digitální model reliéfu
DMÚ	Digitální model území

Obsah

Prohlášení studenta	2
Abstrakt	4
Klíčová slova	4
Abstract	5
Key word	5
Seznam použitých zkratk	6
Úvod	8
1. Vymezení zájmové oblasti	9
2. Strukturně-geologické a geomorfologické poměry	10
2.1. Moravosilezikum	13
2.2. Vnější Západní Karpaty	14
3. Povodí řeky Odry	14
3.1. Tvar říční sítě	16
4. Analýza strukturních měření	20
5. Morfotektonická analýza	22
5.1. Analýza směrů vodních toků	22
5.2. Analýza digitálního modelu terénu	23
5.2. Analýza expozice svahů	26
5.3. Analýza metodou úsekových růžicových diagramů	27
5.4. Tvorba růžicových diagramů	28
5.4.1. Volba vhodného kroku	28
5.5. Analýza směrů	30
6. Směrová analýza dílčích povodí	31
6.1. Analýza povodí řeky Opavy	32
6.2. Analýza povodí řeky Moravice	33
6.3. Analýza povodí řeky Ostravice	34
6.4. Analýza povodí řeky Olše	35
6.5. Analýza povodí řeky Odry	36
7. Interpretace dat	37
8. Závěr	38
Použitá literatura	41
Seznam obrázků	42

Úvod

Morfostrukturní analýza využívá především vizuální a datové zpracování DMR pomocí softwaru GIS. S nástupem pokročilých výpočetních technologií je tato analýza mnohem dostupnější, než tomu bylo v dřívějších letech. Výstupy takových analýz mohou sloužit jako podklad například pro geologické studie geneze regionu.

Cílem této bakalářské práce je analyzovat reliéf dané oblasti z geologického hlediska a určit míru vlivu deformací na říční síť. Práce se zaměřuje na deformační strukturu oblasti povodí řeky Odry a jednotlivých tektonických fenoménů.

V rámci práce byla provedena analýza dílčích povodí řeky Odry na území České republiky různou metodikou. Hlavním zaměřením analýzy říční sítě bylo zjištění převládajících směrů. Charaktery říčních sítí byly v závěru práce porovnány se strukturně-geologickými poměry a byla určena míra jejich závislosti.

1. Vymezení zájmové oblasti

Studované území se nachází v oblasti povodí Odry a je ohraničeno ze severu hranicí Polské a České republiky. Na jihovýchodě je vymezena hranicí se Slovenskou republikou a západní hranici tvoří rozvodnice povodí Odry a Moravy.



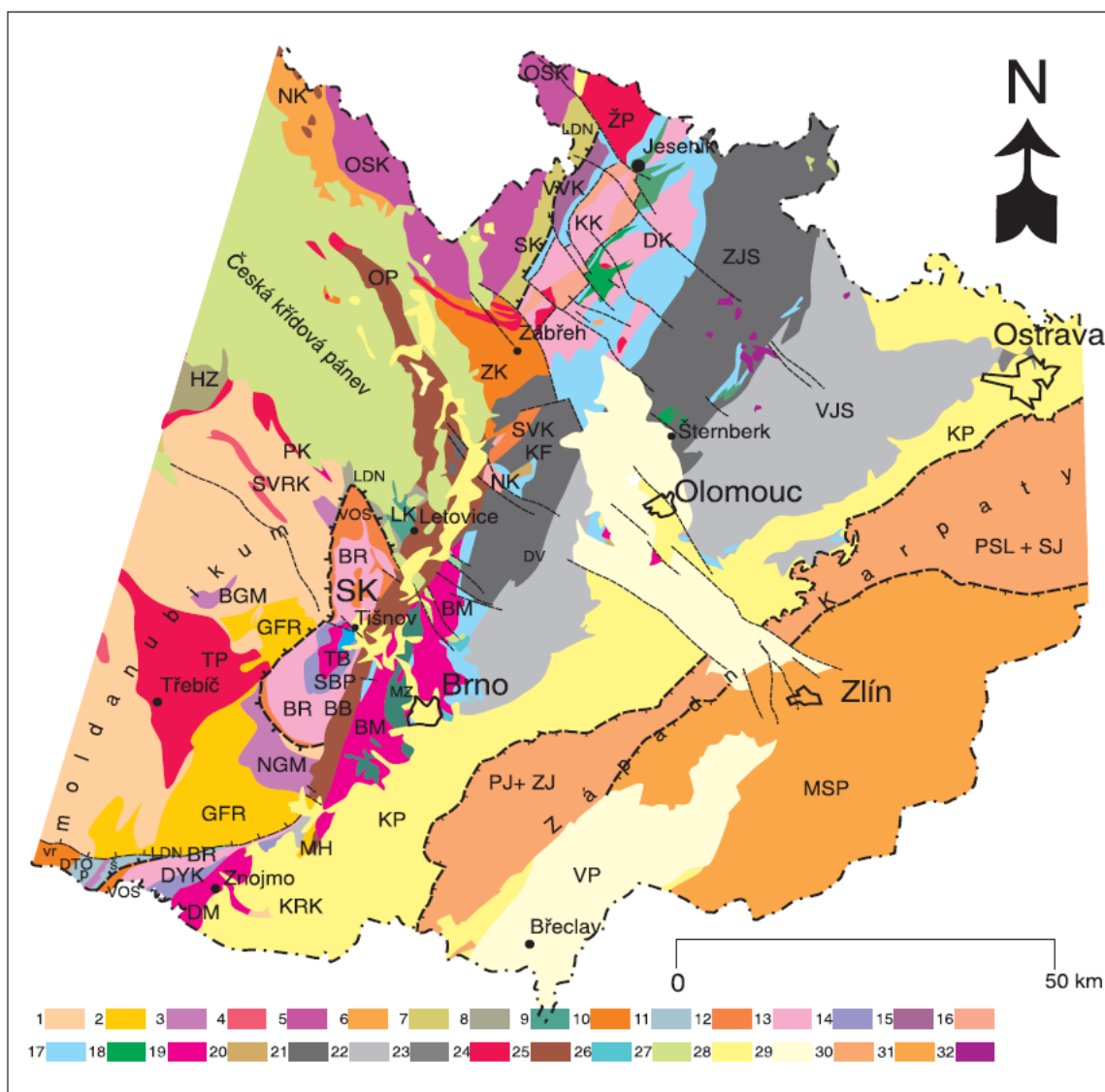
Obr. 1: Vymezení zájmové oblasti (<https://www.pod.cz>)

Povodí řeky Odry se nachází mezi systémem hercynským a alpským. Z hlediska regionálně geologického zařazení povodí řeky Odry zasahuje jak do Českého masivu, tak do vnějších Západních Karpat. Oblast jako taková je rozsáhlá a strukturně i litologicky komplikovaná. Specifická pozice povodí řeky Odry se nachází na tektonickém kontaktu dvou orogénů a má významný vliv na hydrologickou stavbu zájmové oblasti. Zájmová oblast se dále člení na dílčí povodí, která zasahují jak do alpského, tak hercynského orogénu.

2. Strukturně-geologické a geomorfologické poměry

Morfologie zájmové oblasti je výslednicí působení endogenních (horotvorných) a exogenních (erozivních) pochodů. Míra intenzity obou základních prvků určuje minulý a hlavně nynější charakter reliéfu povodí. Na něm se významně podílí geologická stavba. Terciérní a především fluvialní sedimenty na území sousedního Polska a v moravských úvalech například podmiňují schopnost řeky meandrovat, zatímco pevné flyšové sedimenty Nížkého Jeseníku umožňují říčním tokům postupovat podle tektonických zlomů a puklinových a klivážových systémů.

Variská (hercynská) část povodí řeky Odry je součástí moravosilezika [7]. Tato oblast byla v období variského orogenního cyklu významně deformačně postižena, což mělo za následek vývoj specifické zlomové a puklinové sítě a na západě také doprovázená metamorfními procesy.



Obr. 2: Geologická stavba zájmové oblasti [12]. Legenda: Moldanubická oblast s. 1 (tj. včetně svrateckého krystalinika (SVRK) a poličského krystalinika (PK): 1 převážně pararuly a migmatity s pestrými vložkami nerozlišené (včetně krhovického krystalinika – KRK); 2 gřohlské ortoruly (GFR), migmatity (včetně jižní části krystalinika miroslavské hrásti

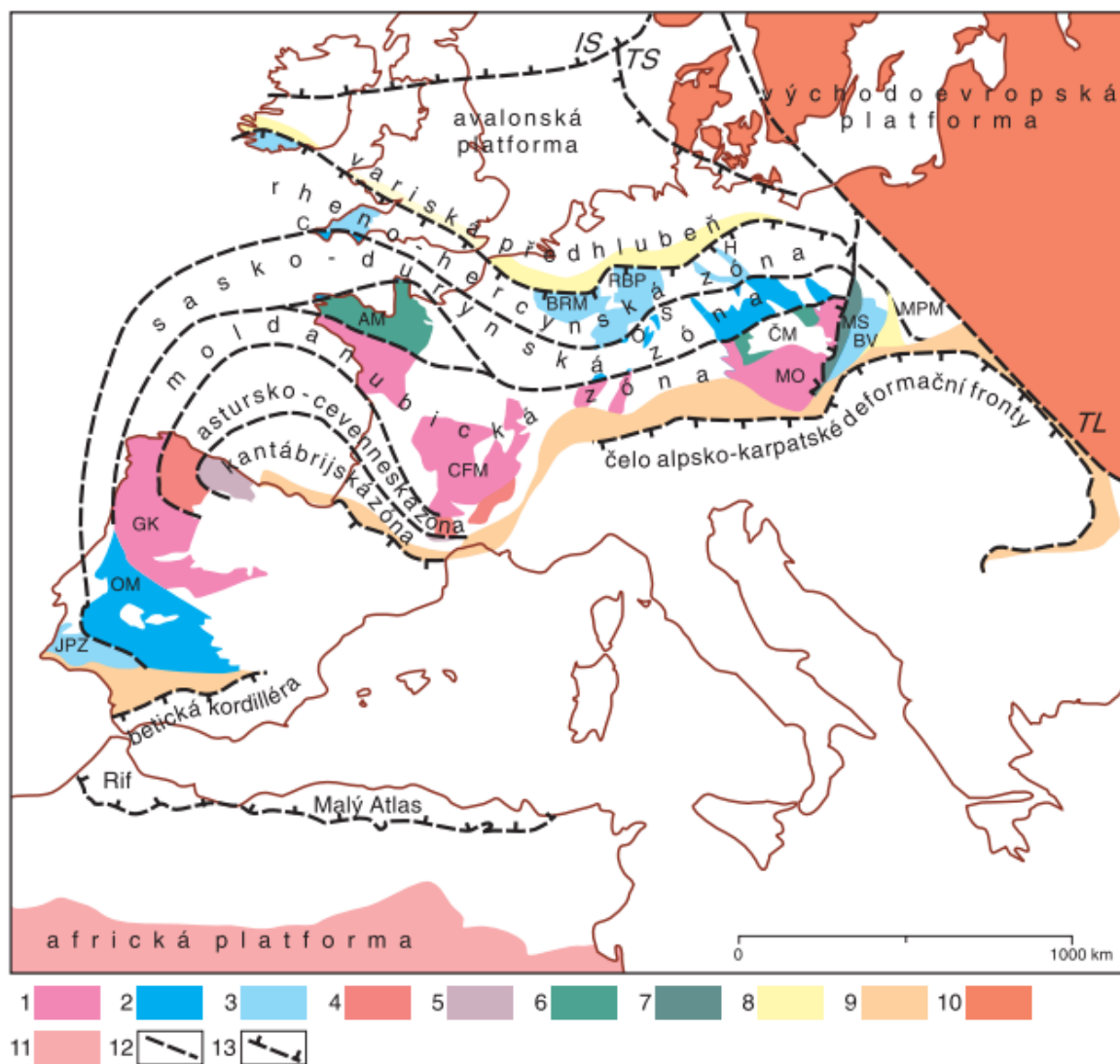
(MH); **3** granulitové masivy s tělesy bazik a ultrabazik – NGM – náměšťský granulitový masiv, borský granulitový masiv; **4** patrně kambroordovické ortoruly; lugičká oblast: **5** ortoruly, migmatity jádra orlicko-sněžnické klenby (OSK) včetně níže metamorfovaných metasedimentů strážské skupiny; **6** novoměstské krystalinikum – NK (nerozlišené); **7** staroměstské krystalinikum – SK (nerozlišené); Letovické krystalinikum (LK); **8** svory a pararuly s vložkami metabazitů; **9** letovický metaofiolitový komplex; **10** zábřežské krystalinikum (ZK) nerozlišené; Moravoslezikum: moravikum dyjské (DYK) a svratecké klenby – SK (včetně nectavského (NK) a svinovsko-vranovského krystalinika (SVK) a drosendorfského tektonického okna – DTO); **11** pararuly a svory šafovské (š) a podhradské jednotky (p); **12** svory a pararuly vranovsko-olešnické (vos) a vratěněnské skupiny (vr) a jejich ekvivalentů v svinovsko-vranovském krystaliniku (SVK); **13** kadomské ortoruly (bítešská rula – BR a její ekvivalenty v nectavském, svinovsko-vranovském krystaliniku, keprnické (KK) a desenské klenbě (DK); **14** lukovská skupina a skupina Bílého potoka (SBP); **15** velkovrbenská klenba – VVK (nerozlišené); **16** pararuly keprnické klenby (KK); **17** metamorfovaný a nemetamorfovaný devon až sp. Karbon moravoslezika a brunovistulika (nerozlišený); **18** devonské bazické masivy v silezikum (sobotínský, jesenický) a rozsáhlejší tělesa metavulkanitů v podloží jesenického kulmu; Brunovistulikum: **19** kadomské plutonity (brněnský masiv – BM, včetně metabazitové zóny – MZ, dyjský masiv – DM a výskyty v hornomoravském úvalu); **20** kladecké fylity (KF); **21** spodní karbon převážně ve flyšovém vývoji (nerozlišený) západojesenického synklinoria (ZJS) a západní části Dražanské vrchoviny; **22** vizéžský flyš Dražanské vrchoviny (DV) a východojesenického synklinoria (VJS); **23** namur hornoslezské pánve; **24** variské plutonity: TP – třebešský pluton, ŽP – Žulovský pluton (drobnější tělesa bez označení); Platformní jednotky ČM: **25** permokarbon boskovické brázdy (BB), orlické pánve (OP) a reliktů v Orlických horách; **26** jura (vápence, pískovce); **27** křída české křídové pánve, králického příkopu, reliktů v blanenském prolomu, reliktů výběžků osoblazské pánve; Karpatská soustava; **28** terciér karpatské předhlubně včetně reliktů ve východní části ČM; **29** pliocén vídeňské pánve (VP) a hornomoravského úvalu; **30** komplexy pouzdřanské (PJ), ždánické (ŽJ), podslezské (PSJ) a slezské (SJ) jednotky – (jura až terciér); **31** převážně paleogenní flyšové komplexy magurské skupiny příkrovů (MSP); **32** neovulkanity ČM, LDN – lugodanubické nasunutí.

Geologický reliéf se vyvíjí řádově miliony až stovky milionů let, a je tedy výsledkem dlouhodobých horotvorných a erozních pochodů [2]. Na oblast povodí Odry tedy nelze nahlížet jako na jednoduchý reliéf, ale jako na výslednici působení milionů let geologických pochodů, které mají za následek aktuální podobu.

Téměř nikde se nesetkáme s geologickou oblastí, která by nebyla vystavena jakékoliv deformaci. Matečná hornina je často značně porušena a někdy dislokována a přenesena na obrovské vzdálenosti. Určit vzhled a tvar původní struktury je často velice obtížné, avšak s nástupem GIS a pokročilou metodou radioaktivního datování je možné zjistit dřívější podobu zkoumané oblasti.

Na naše území zasahuje jen malý úsek vnější části Západních Karpat, tvořený příkrovy mezozoických a terciérních hornin, tj. tzv. flyšové Karpaty [3]. Díky tomuto působení vznikly evropské Alpy a na našem území Vnější Karpaty.

Zájmová oblast povodí Odry se dělí na dva hlavní strukturní celky vytvořené alpskou a hercynskou orogenezí. Geneze těchto podoblastí je zcela odlišná a při morfotektonické analýze lze očekávat rozdílné výsledky. Vzájemně je dělí Moravská brána. Významně odlišné jsou geologické poměry Slezika, které je postiženo intenzivní variskou tektonikou a silnou metamorfozou, jenž vznikla v průběhu variské kolize s brunovistulikem [12]. Takto metamorfovaná oblast podmiňuje zcela jiné podmínky pro vývoj říční sítě než je tomu v karpatské části povodí Odry.



Obr. 3: Postavení Českého masivu v evropských variscidách [12] 1 moldanubická zóna (na povrch vystupující masivy označeny zkratkami: MO – moldanubikum a jemu metamorfně odpovídající jednotky v Českém masivu (ČM), CFM – Centrální francouzský masív, GK– galicijsko-kastilská oblast, AM – Armorický masív; 2 sasko-duryňská oblast: O – Odenwald, S – Spessart, OM – Ossa Morena); 3 rhenohercynská zóna (H – Harz, RBP – Rýnské břidličné pohoří, BRM – Brabantský masív, C – Cornwall, JPZ – jihoportugalská zóna; 4 asturská zóna, 5 kantabrijská zóna; 6 tepelsko-barrandienská oblast a severoarmorická oblast; 7 moravosilesikum, 8 variská předhlubeň; 9 alpinská předhlubeň; 10 východoevropská platforma, 11 africká platforma; 12 tektonické hranice jednotlivých zón evropských variscid (nerozlišené) a tektonický okraj východoevropské platformy – TL (Tornquistova linie); 13 tektonické hranice prvního řádu: čela alpské a variské deformační fronty, významné kaledonské sutury: TS sutura po kaledonském uzavření Tornquistova moře, IS – sutura po kaledonském uzavření oceánu Iapetus; samostatné jednotky připojené k východoevropské platformě během staršího paleozoika, MPM – Malopolský masív, BV – Brunovistulikum.

2.1. Moravosilezikum

Vybraná oblast se nachází na území alpínského a hercynského orogénu, které byly během milionů let formovány do nynější podoby. Moravosilezikum bylo původně součástí avalonsko-kadomského orogénu. Během variské orogeneze došlo k intenzivní deformaci a metamorfóze především v západní části moravosilezika. Na Český masiv se během milionů nasunul alpínsko-karpatský orogén, který svým rozsahem značně změnil vzhled nynější Evropy. Moravosilezikum představuje segment kadomské kůry brunovistulika, který byl spolu se svým paleozoickým pokryvem deformován a metamorfován [13].

Zájmová oblast je na západě vymezena moravskoslezským zlomovým pásmem. Moravskoslezské zlomové pásmo je strukturou velmi heterogenní. Skládá se z řady dílčích dislokací jako je například bítešský a náměšťský zlom, vacetínské, nýznerovské, ramzovské apod. nasunutí [13].

Od severu k jihu se s moravosilezikem stýkají různé horninové komplexy (kulm, brněnský a dyjský masiv atd.). Styk těchto jednotek je z části překryt mladšími sedimenty permokarbonu boskovické brázdy.

Během geologického vývoje moravosilezika se usazovala pestrá škála sedimentů. V devonu probíhala sedimentace vápenců a vulkanosedimentárních facií. Metamorfóza v oblasti moravosilezika je intenzivní především v západní části, kde vlivem působení variského vrásnění docházelo k intenzivnímu působení teploty a tlaku. Intenzita metamorfozy postupně klesá směrem od místa kolize s lugií na východ.

2.2. Vnější Západní Karpaty

Karpaty jsou součástí evropského alpínského orogénu, které se ve dvou větvích – severní a jižní táhne od pobřeží Atlantského oceánu na východ [14]. Pohoří tvoří významnou geologickou strukturu na povodí Evropy, zasahující do České Republiky, Rakouska, Slovenska, Polska a také Maďarska. Západní Karpaty jsou typickým horským řetězcem – pásebným pohořím vyznačujícím se příkrovovou stavbou s výrazným zonálním uspořádáním [14].

Sedimenty, které se v původním karpatském prostoru ukládaly, byly zvrásněny v průběhu terciéru. V důsledku orogeneze došlo k nasunutí systému příkrovů tvořených především horninami flyše, čímž byl vytvořen základ geologické stavby Moravskoslezských Beskyd [1].

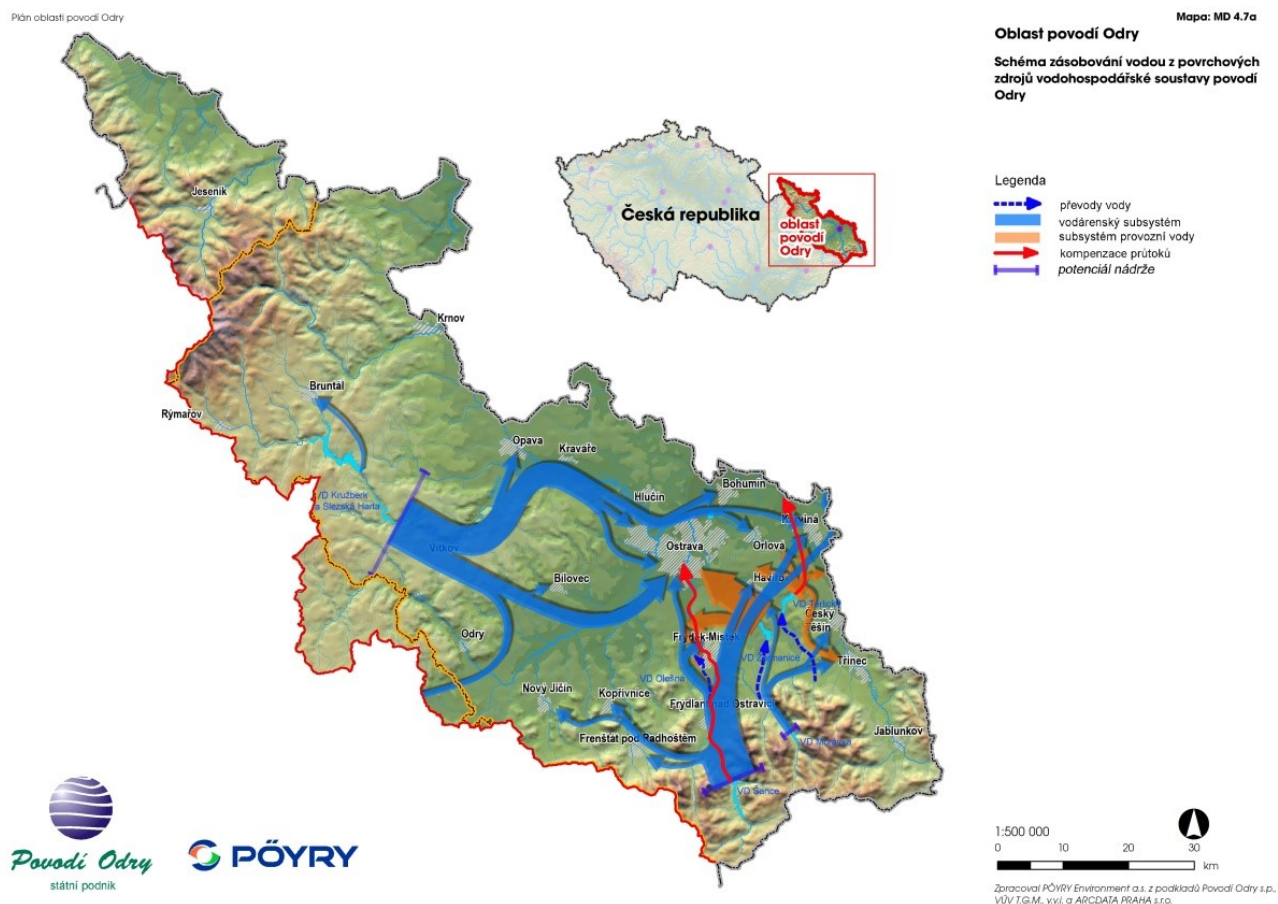
Důležitým geomorfologickým činitelem vývoje výplně karpatské předhlubně a výplně moravských úvalů, ale i eroze obou výše popsaných orogénů byl pevninský ledovec, který v období kvartéru dvakrát postoupil až k Moravské bráně. Jeho činnost se tak výrazně projevila na formování Ostravské pánve povodí [1].

3. Povodí řeky Odry

Analyzovaná oblast této práce se zaměřuje na povodí Odry na území České republiky. Přilehlá oblast Polské republiky je z části tvořena kvartérními sedimenty. Tyto sedimenty se vyznačují svou relativně malou konsolidací a výrazně se na nich projevují účinky erozních pochodů způsobené říční sítí. Morfotektonická analýza takových řek by byla značně zkreslená častými meandry a znemožní vyčíst vztah mezi říční sítí a tektonikou oblasti.

Pramen řeky Odry se nachází v Oderských vrších v nadmořské výšce 632 m n. m. Mezi její levostranné přítoky patří řeky Moravice a Opava, zatímco mezi pravostranné patří Ostravice, Morávka a Olše. Na svém horním toku má Odra bystřinný charakter, vyznačující se velkým spádem a velkou erozí vodního koryta [1]. Největší akumulace probíhá v místech Ostravské pánve, kde se rychlost toků zpomaluje.

V regionu se také nachází řada vodních nádrží jako například vodní nádrž Morávka, Kružberk nebo Slezská Harta. Jednou z nejvýznamějších je vodní nádrž Šance na řece Ostravici, která dodává pitnou vodu pro město Ostrava.



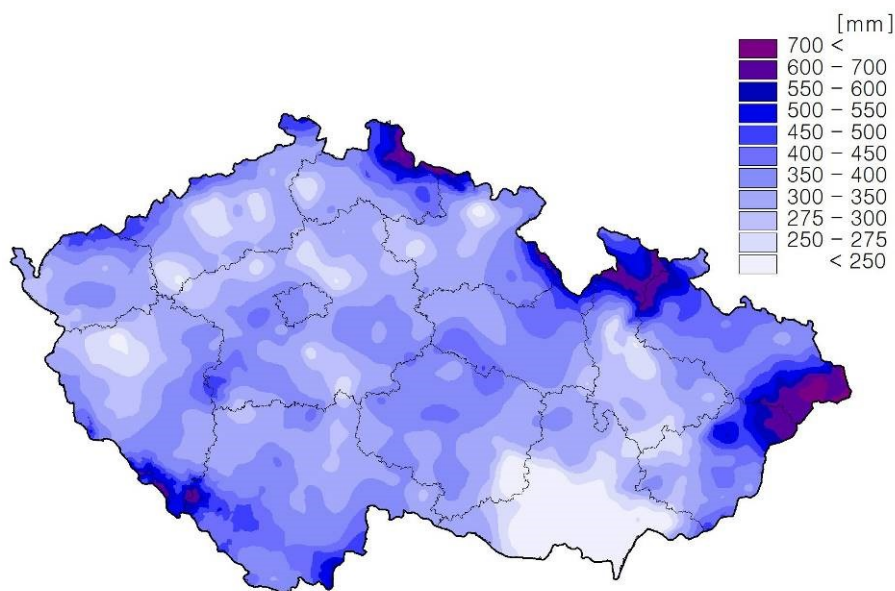
Obr. 4: Oblast povodí Odry se znázorněným směrem akumulace povrchových zdrojů [14]

Odra ústí do Baltského moře. Celková rozloha povodí činí 118 861 km², přičemž na území naší republiky se vyskytuje v rozloze 7 217 km², což představuje pouze 6% z celkové plochy [1].

Oblast povodí řeky Odry je formována proterozoickými metamfrovanými horninami, zvláště v okolí Hrubého Jeseníku. Narazíme však také na sedimenty z období křídy nebo také flyšové sedimenty z terciéru. Během kvartéru oblast povodí řeky Odry patřila k periglaciální zoně, což časem vedlo k značnému výskytu zvětralých hornin [14].

Rozdíl mezi členitostí povodí Odry v Moravskoslezských Beskydech a Hrubém Jeseníku je opravdu značný. Prameny v obou místech se nacházejí téměř ve stejné výškové úrovni, avšak délka odtoku do recipientu je z jesenické strany dvojnásobná, oproti straně beskydské. Sklon beskydských toků je tedy zhruba dvojnásobný oproti jesenickým. To má za následek erozně ničivější poměry řek [1].

Zájmová oblast se nachází na území mírného klimatického pásu. Tomu odpovídá průměrný roční srážkový úhrn, který je největší na Lysé hoře následován Hrubým Jeseníkem. V regionu povodí Odry se vyskytují jedny z největších srážek v celé České republice, což se projevuje na rozsáhlé a velmi aktivní říční síti.



Obr. 5: Přehled srážek Leden 2014 – Červenec 2014 (infomet.cz - ČHMU)

3.1. Tvar říční sítě

Podoba říční sítě se liší podle místa, kterým protéká. Na výsledný tvar působí řada činitelů, jako například sklon terénu určující rychlost proudění vody, šířka vodního toku a hlavně geologické podloží. Flyšové sedimenty vnějších Západních Karpat umožňují říčnímu toku snáz erodovat břehy, zatímco pevné metamorfované horniny Hrubého Jeseníku nutí říční síť podřídít se liniovým strukturám na území. V rámci morforektonické analýzy je nutné předpokládat, že určité části říčních sítí podlehly úpravám. Ve výsledku můžeme však najít původní koryta řek, ale také antropogenně upravené části. Oblast Poodří se nachází v zóně produktivního karbonu a strukturně nelze opomenout ani antropogenní působení na region, které je díky řadě podpovrchových černouhelných dolů značné. V oblasti povodí řeky Odry tak často docházelo k poklesům, důlním otřesům a v důsledku vytěžení hlušiny a také ke vzniku hald [14].

I přes to, že koryto řeky Odry bylo antropogenně upraveno, z velké části si zachovalo svůj původní tvar. Morforektonicky nejvýznamější stavbou celé vymezené oblasti je tedy samotné koryto řeky Odry. Antropogenní zásah do řeky Odry je relativně malý, na určitých místech měl lidský zásah značný podíl na struktuře toku řeky, jako například jezy a rovnání koryt v Odrách.

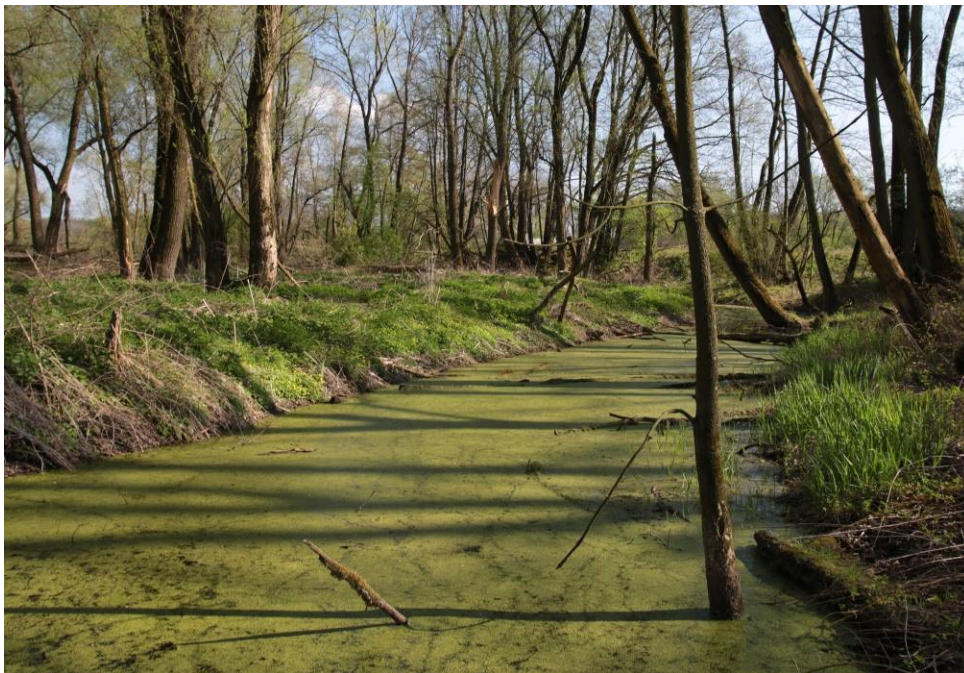


Obr. 6: Erodovalý břeh Odry v Polanské nivě (foto Radek Starý, 2015)

Vhodným příkladem může být území Polanské nivy, kde řeka Odra výrazně meandruje. Tato oblast se vyskytuje jižně od Ostravy a vystihuje přírodní formu řeky Odry bez zásahu člověka. V blízkosti hlavního koryta se také vyskytuje řada mrtvých ramen.



Obr. 7: Odra v Polanské nivě (podle google.cz/maps)



Obr. 8: Mrtvé rameno Odry v Polanské nivě (foto Radek Starý, 2015)

O pár kilometrů dál poblíž centra Ostravy je podoba řeky Odry zcela jiná. Hlavní koryto je téměř rovné vlivem systematické regulace řeky. Meandrovitá podoba řeky je pro městskou část zcela nevhodná. V blízkosti jsou také pozůstatky mrtvých ramen. Většina byla však lidským zásahem odstraněna. V tomto úseku lze očekávat větší rychlost proudění vody v korytě řeky vlivem rovnání vodního toku.



Obr. 9: Odry severně od Ostravy - 1954 (podle <http://kontaminace.cenia.cz/>)



Obr. 10: Odra severně od Ostravy - současnost (podle <http://kontaminace.cenia.cz/>)

Řeka Odra v roce 1954 poblíž města Ostravy vykazovala znaky klasického toku s minimem lidských zásahů. V průběhu následujících šedesáti let byla systematickými zásahy upravována až do dnešní podoby.

4. Analýza strukturních měření

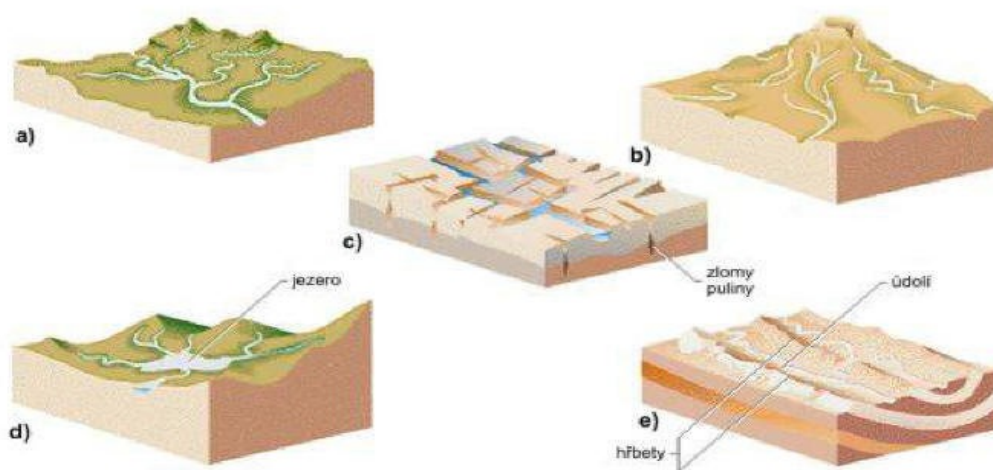
Strukturní prvky jsou náhlé nebo postupné změny charakteru horniny způsobené tektonickými pochody. Tyto struktury narušují horninu, ve které se nachází. Z hlediska morfoanalýzy se jedná o klíčové prvky reliéfu, které umožní odhalit geologické a tektonické procesy v regionu. Téměř všechny geologické celky podléhají určité formě deformace, avšak s rozdílem síly působnosti.

Deformační struktury jsou vždy zapříčiněny endogenními silami působícími na geologickou oblast. Různé horniny podle svých vlastností odlišně reagují na působení endogenních pochodů. Některé horniny se deformují spojitě (vrásy atp.), u jiných naopak vznikají nespojitě deformace – pukliny, zlomy [8].

Na oblast povodí řeky Odry působila řada tektonických procesů, často z různých směrů a s různou intenzitou. Mezi nejvýznamnější tektonické deformace patřila variská orogeneze ze západu a později alpínsko-karpatský orogén z východu.

Říční toky jsou pro vývoj reliéfu významné jak z hlediska hydrologického, tak geologického. Srážky se v daném povodí shromažďují do nejméně zpevněných částí oblasti a díky erozi často dochází k významným změnám v podobě krajiny. Ty mohou být náhlé, jako například sesuvy svahů nebo postupné erozní procesy na koryta řek.

Vodní toky můžeme rozdělit do pěti základních tříd [16]. Toto dělení se primárně odvíjí od geologických poměrů reliéfu. Soustavy vodních toků dělíme na: a) dendroidální, b) radiální, c) pravoúhlou, d) radiální dostřednou, e) rovnoběžnou.



Obr. 11: Dělení říčních sítí [16]

Tektonika a hydraulika jde ruku v ruce v malých i velkých měřítkách. Podle vlivu působení reliéfu na řeky proto dělíme do dvou základních skupin:

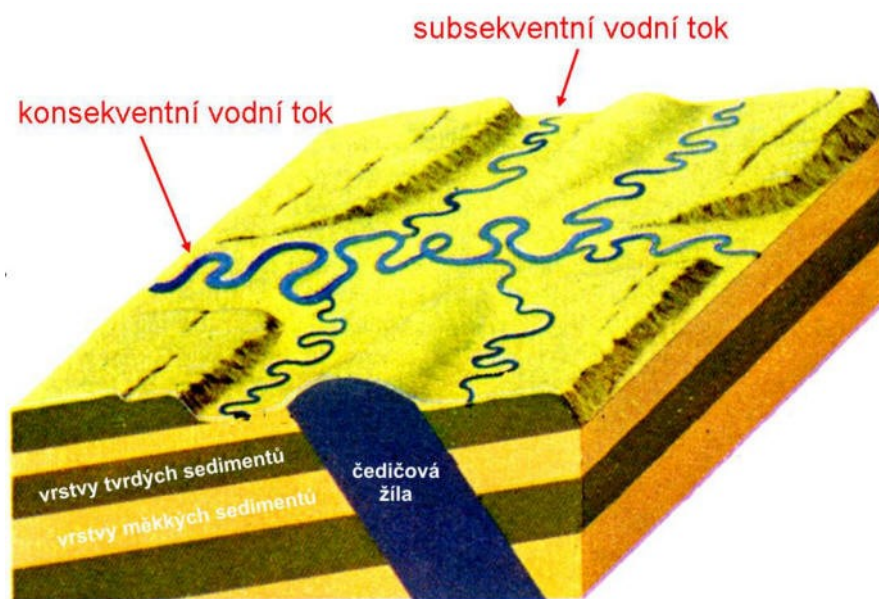
a) subsekventní toky

Jsou liniové vodní útvary, jejichž podoba (směr, orientace, šířka) je zásadně ovlivněna geologickou stavbou okolního reliéfu. Mezi hlavní činitele patří liniové prvky jako pukliny nebo jiné tektonické deformace. Ohled se však bere také na odolnost horniny, která má za následek trasu vodního toku.

b) konsekventní toky

Jsou liniové vodní útvary, jejichž podoba (směr, orientace, šířka) sleduje pouze hlavní geologické stavby reliéfu, jako jsou ukloněné plochy hor, údolí.

Oba tyto typy toků se navzájem nevylučují, protože vždy se setkáváme s kombinací působení těchto sil. Typ vodního toku se tak určuje podle převažující složky.



Obr. 12: Konsekventní a subsekventní vodní toky [14]

Cílem této práce je analyzovat povodí Odry s ohledem na tektoniku ve variscidech a Vnějších Západních Karpatech. Zájmová oblast podlehla silné deformaci a na území se vyskytuje řada prvotních tektonických útvarů, kterými jsou zlomy, poklesy nebo například vrásy. Kombinací geologického podloží a tektonických jevů je aktuální podoba vodního toku.

5. Morfotektonická analýza

Morfotektonická podoba daného regionu je výslednicí interakce geologických a erozních poměrů. Cílem morfotektonické analýzy je pomocí získaných dat v rámci GIS analyzovat reliéf, objasnit geologické pochody a tyto informace použít pro daný výzkum. Morfotektonická analýza má řadu uplatnění, ať v geologii, v ekonomické sféře nebo také ve sféře sociální. Pro spolehlivou morfotektonickou analýzu je nutné disponovat DMR daného regionu s dostatečnou přesností (<http://geoportal.gov.cz/web/guest/wms/>), v tomto případě DMÚ-25, pro využití v řadě GIS výpočtů. Jedná se o databázi topografických informací, které vychází z vojenských topografických map měřítek 1:25 000. DMÚ zájmové oblasti poskytne vizuální přehled o terénu.

5.1. Analýza směrů vodních toků

Tato práce se zabývá vzájemným vztahem vodních toků povodí řeky Odry k projevům drobné tektoniky (puklinových sítí) a zlomů. Cílem práce je přispět k objasnění, jak velký je stupeň vzájemného ovlivnění.

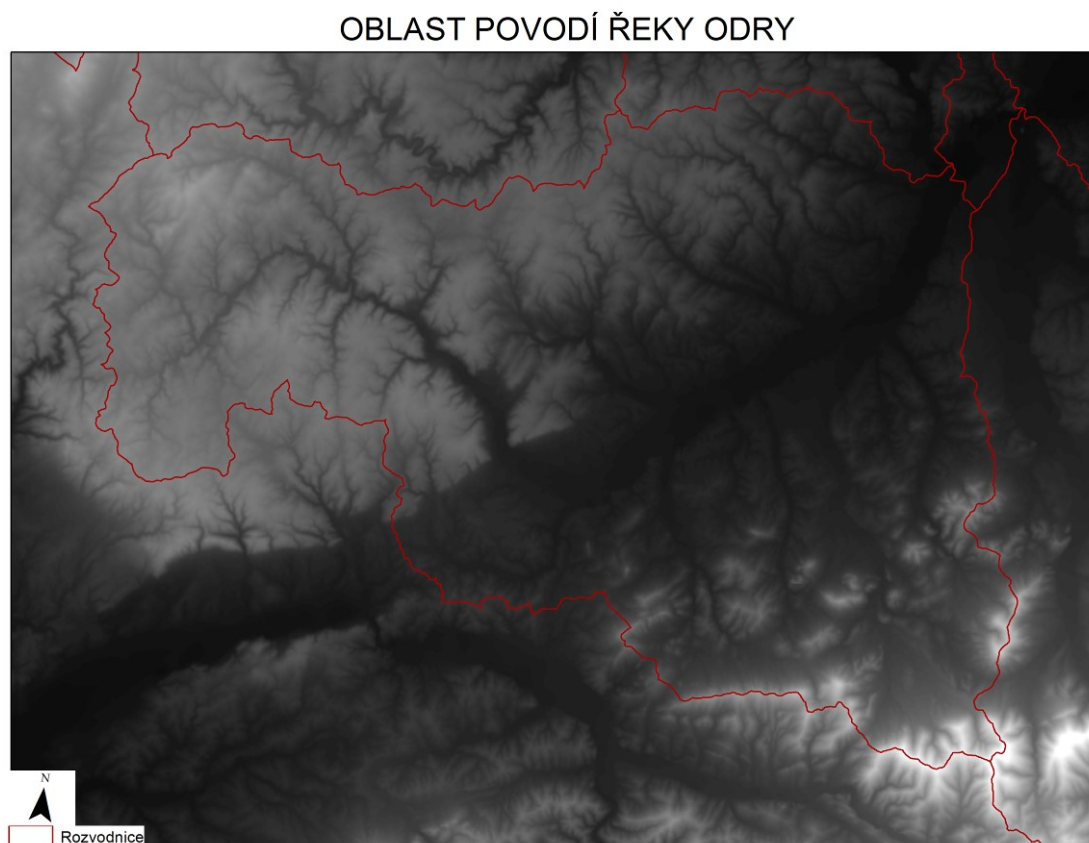
Pomocí těchto dat je možné vizuálně určit převládající azimuty ve vybrané oblasti. Pro analýzu bylo využito programu ArcMap 10.2 od firmy ESRI. Jednou z možností jak k problému přistupovat je použít nástroj Field Calculator. Tímto je možné do atributové tabulky jednotlivých položek vložit vypočítanou orientaci liniových prvků nebo případně délku jednotlivých úseků. Tento proces je však velice náročný na znalosti programovacího jazyka Python a samotná práce s výstupními daty je značně omezená.

Dalším způsobem je využití extenzí, které program ArcMap 10.2 podporuje. Existuje několik variant, jako například Hawth's Tools pro měření údajů o liniových prvcích a další. Většina těchto extenzí je však zaměřena na příliš obecné problémy a pro morfotektonickou analýzu povodí řeky Odry jsou nevhodné.

Nejefektivnější variantou je analýza terénu pomocí funkcí ArcToolbox v kombinaci s extenzí Rose_Diagrams, neboli Růžicové diagramy [10].

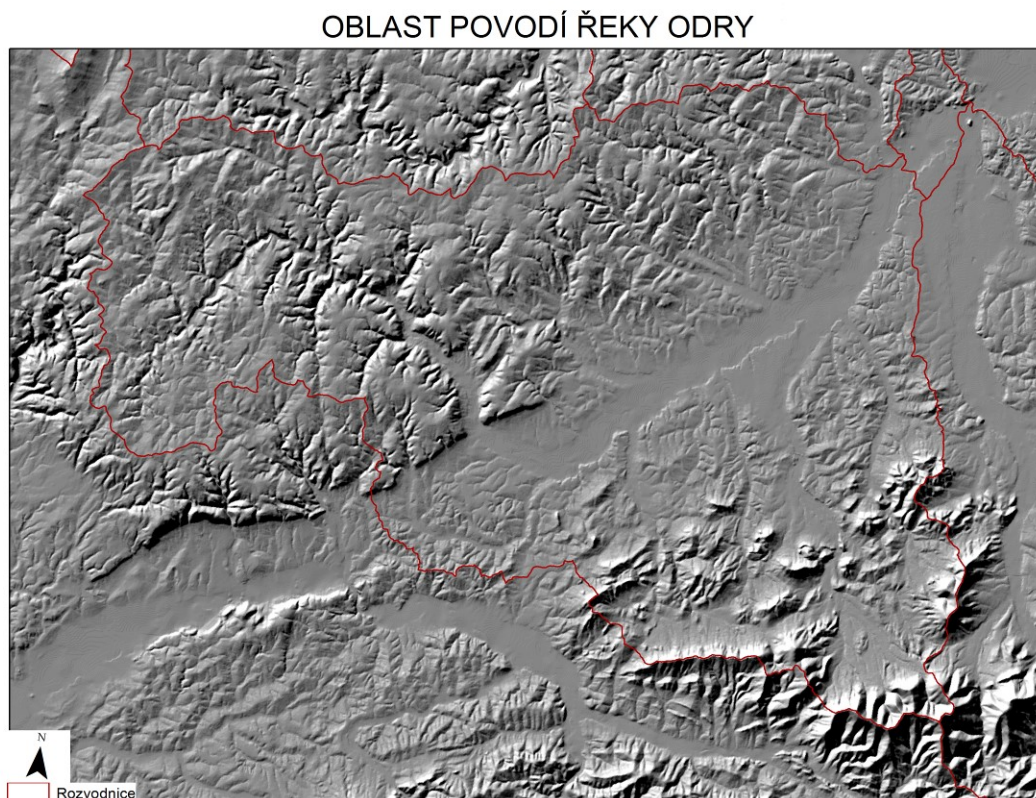
5.2. Analýza digitálního modelu terénu

Pro efektivní práci je nutné vstupní model reliéfu v rámci programu ArcMap upravit, aby odpovídal zaběhlým kartografickým standardům. V základní podobě se jedná o rastrový formát, jehož buňky jsou obarveny podle nadmořské výšky. Nejnížší místa jsou tmavá, zatímco nejvyšší téměř bílá (případně v libovolně zvolené barevné škále). Tato podoba terénu je pro reprezentaci analýz nevhodná.



Obr. 13: DMÚ-25 s černobílým barevným přechodem

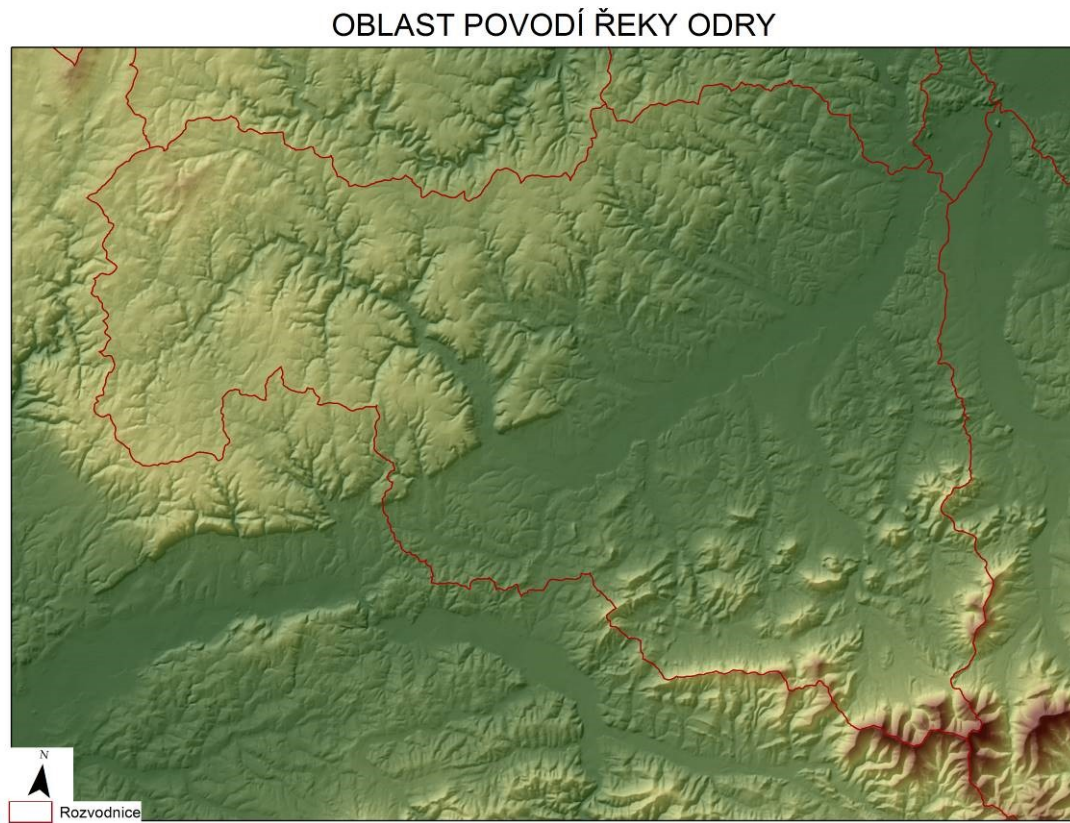
V první řadě je potřeba vygenerovat pomocí funkce ArcToolbox stínovaný reliéf (hillshade) terénu. Pomocí této funkce program vytvoří nasvícený reliéf se zvoleným úhlem nasvícení a intenzitou. Správným nastavením je výstup v podobě ražené mapy, která bude sloužit jako podklad pro vrstvu reprezentující nadmořské výšky.



Obr. 14: Stínovaný reliéf dílčího povodí

Následně je nutné zvolit vhodnou barevnou škálu přechodu barev reprezentujících nadmořskou výšku. Software ArcMap umožňuje využití řady barevných přechodů, předem určených k vykreslení terénu případně mapového jevu. Zvykem je využívat zelené barvy pro nejnižší plochy a hnědou pro nejvyšší. Pro znázornění vysokých pohoří je možné po hnědé barvě použít barvu bílou a sněžnou čáru.

Zvýšením průhlednosti vrstvy barevného přechodu např. na 35% zachováme viditelnost barev nadmořských výšek a také odhalíme spodní vrstvu stínovaného reliéfu. Terén se tak stane plastičtější a umožní snadnější průběh analýzy terénu. Na takto vytvořený podklad je možné umístit říční síť nebo síť zlomovou.

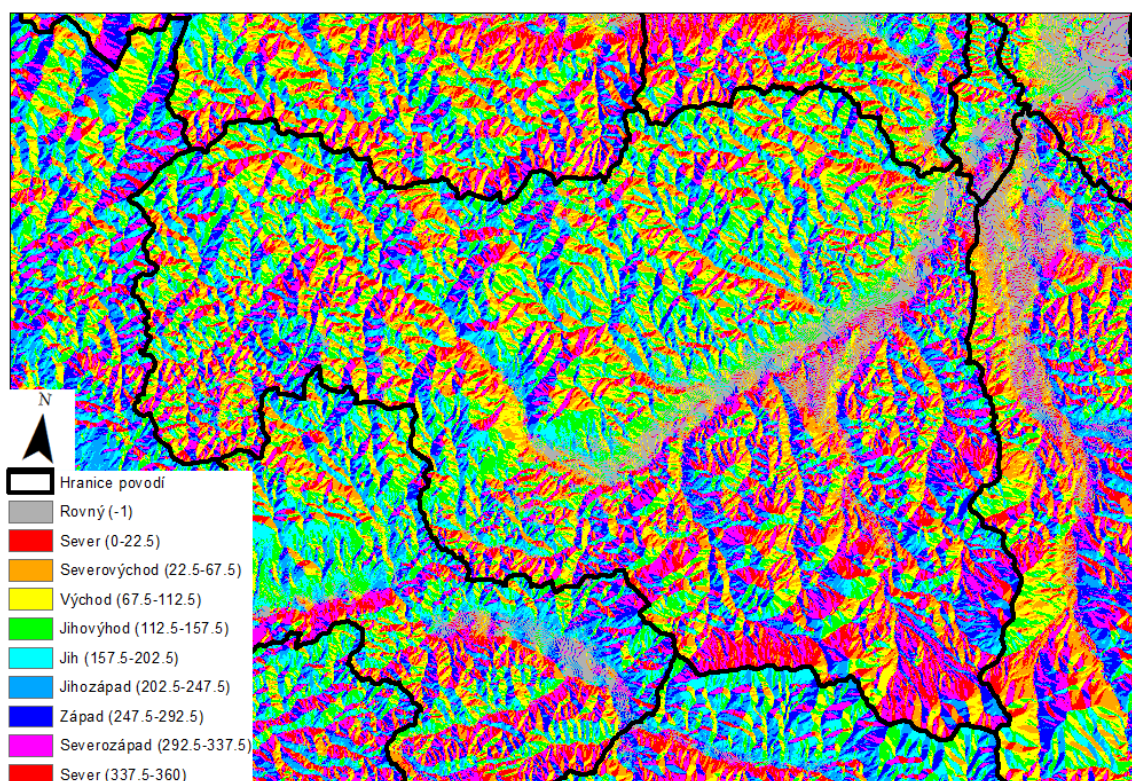


Obr. 15: Kombinace stínovaného reliéfu (hillshade) a výškopisné barevné škály

5.3. Analýza expozice svahů

Expozice svahů (slope aspect) je funkcí ArcToolbox, která vytvoří z DMT mapu orientací svahů vůči světovým stranám převedenou na barevnou škálu. Všechny osm základních světových směrů má svou vlastní barvu a v terénu umožní znázornit orientaci svahů. Tato analýza umožňuje sledovat významné změny terénu, v tomto případě erodované oblasti říční sítě. Přechody se projevují výraznou barevnou změnou – změnou orientace. Většina takových míst je význačná část řeky, která v průběhu let vyhloubila erozí viditelný zářez do geologického podloží.

Pomocí těchto zlomových linií je možné určit převažující směr proudění řeky. Zřetelný je převládající SZ-JV a SSV-JJZ směr hran (dělicích linií svahů – hřbetnic a údolnic) v hercynské části povodí a SSZ-JJV až S-J směry v karpatské oblasti povodí Odry.



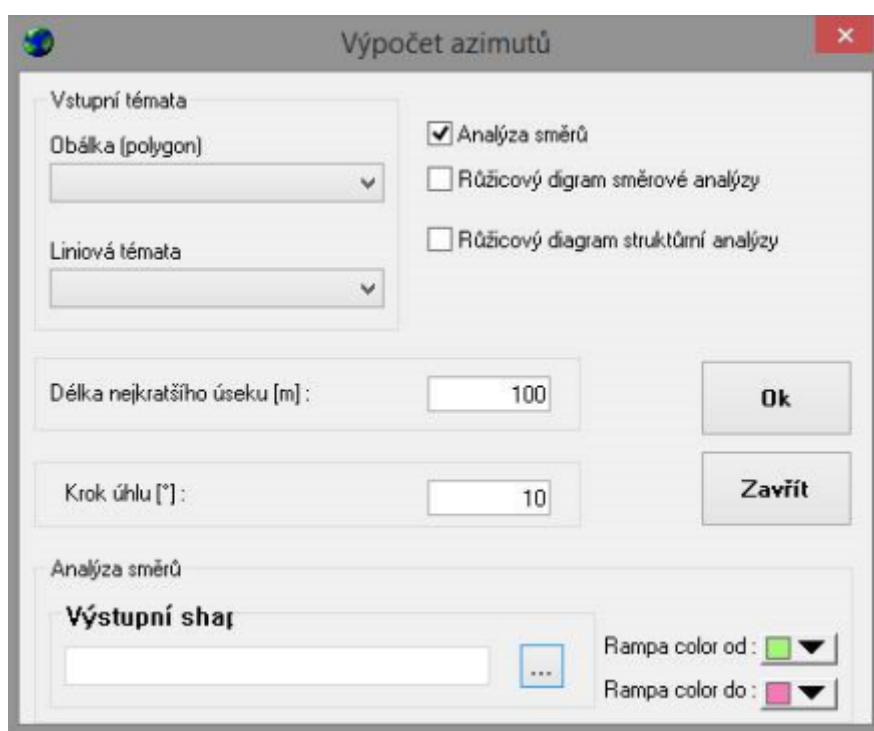
Obr. 16: Orientace svahů vůči světovým stranám (slope aspect) pro povodí řeky Odry

5.4. Analýza metodou úsekových růžicových diagramů

Pro výpočet směrů jednotlivých liniových prvků a jejich interpretaci je v rámci této bakalářské práce používána extenze Rose_Diagrams [10].

Základními informacemi jsou dva vstupy – liniová témata a polygon. Polygon zde slouží jako hranice oblasti, kde analýzu provádíme. Liniová témata jsou například zlomy či vodní toky, tedy hlavní zaměření analýzy.

Pro obě tyto funkce je nutné zvolit délku nejkratšího úseku a krok azimutu. Oba parametry slouží ke vhodnému zpracování dat z dané oblasti. Umožňují zvolit úhel, pod kterým výpočty probíhají a jaké úseky jsou pro analýzu statisticky významné. Při volbě nevhodné délky nejkratšího úseku dostaneme nejpodrobnější možnou analýzu každého metru liniového prvku, avšak pro morfotektonickou analýzu je nutné generalizovat liniové prvky pro zvýšení přehlednosti dat.



Obr. 17: Uživatelské rozhraní extenze Rose_Diagrams[10]

5.5. Tvorba růžicových diagramů

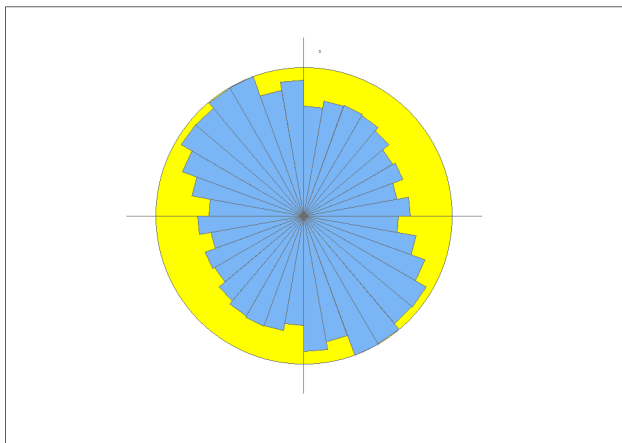
Tento výstup umožní analyticky porovnávat data jednotlivých liniových sítí. Růžicové diagramy reprezentující orientaci jednotlivých azimutálních směrů v dané velikosti a barevné škále. Tato metoda je pro analýzu a porovnání podstatně vhodnější, nežli samotná analýza směrů (viz obr. 22). V rámci extenze je však nutné správně zvolit délku nejkratšího úseku.



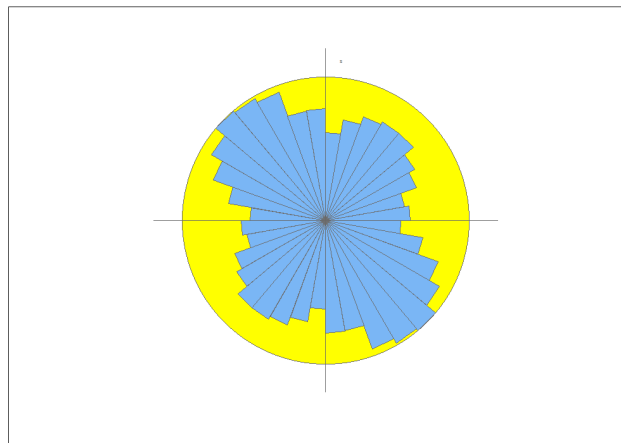
Obr. 18: Příklad analýzy zlomové sítě metodou směrové ružice

5.5.1. Volba vhodného kroku

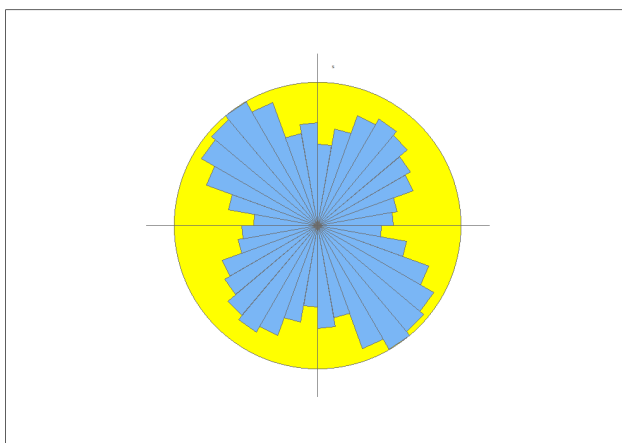
Říční sítě jsou rozmanité liniové struktury s minimálním uspořádáním proudění. Příkladem mohou být některé malé meandry řeky Odry, které z hlediska orientace směrů zabírají téměř všechny světové směry. Pro účelnou funkčnost extenze a správnou analýzu je nezbytně nutné určit optimální délku nejkratšího úseku. Při volbě malého čísla v metrech bychom analyzovali každé menší rameno a výsledek by byl značně zkreslený. Pro porovnání je použita liniová síť Analýzy směrů řeky Odry (viz obr. 22).



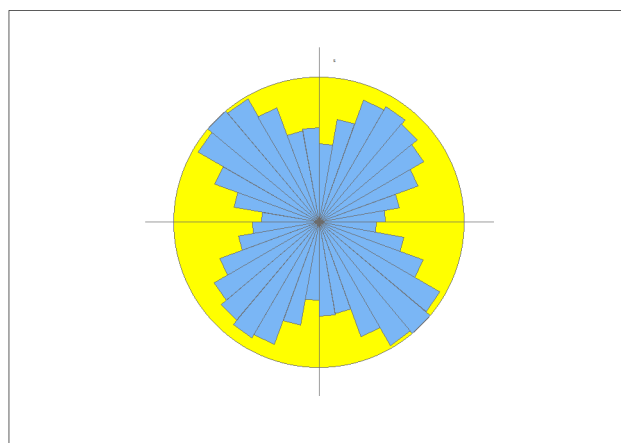
Obr. 19: Diagram s délkou nejmenšího úseku 25 metrů.



Obr. 20: Diagram s délkou nejmenšího úseku 50 metrů.



Obr. 21: Diagram s délkou nejmenšího úseku 75 metrů.



Obr. 22: Diagram s délkou nejmenšího úseku 100 metrů.

Ze zvolených testů je jasné, že při volbě nejmenšího úseku o rozměru 25 metrů výsledky příliš splývají. Na diagramu je lehce patrný dominantní směr SZ-JV, avšak směry ostatní jsou ztraceny v nevhodně zvolené vzdálenosti.

U délky nejmenšího úseku 50 a 75 m je patrný směr vedlejší a to SV-JZ. S rostoucím číslem kroku je tento směr zřetelnější.

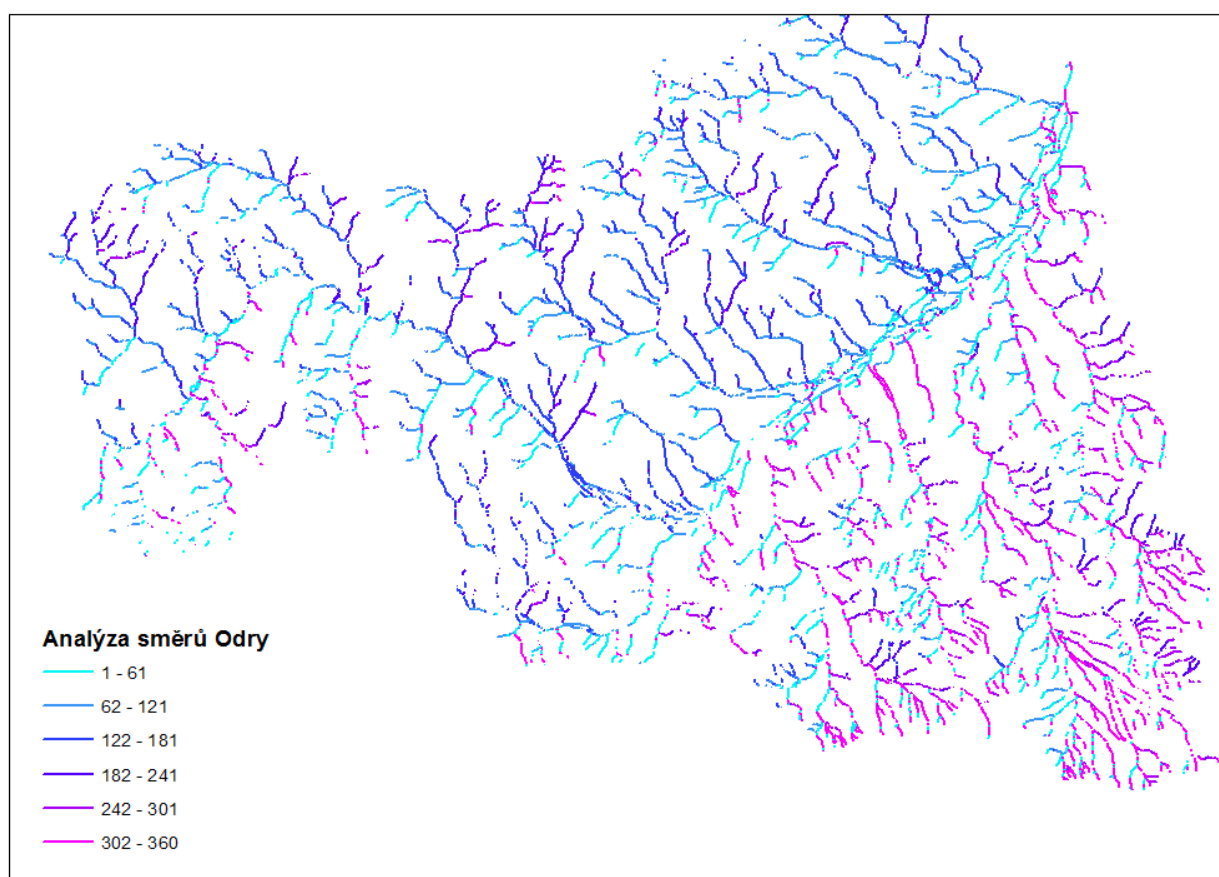
Nejllepším výsledkem je volba nejmenšího úseku pro 100 metrů. Vedlejší směry, jako například severní, jsou značně potlačeny dominancí čtyř hlavních směrů, přičemž je patrný směr dominantní. Pro další práci s touto extenzi byla zvolena délka nejmenšího úseku 100 metrů.

Ze všech testovaných metod morfotektonické analýzy je nejvhodnější extenze Rose_Diagrams[10]. Tato extenze umožní vytvořit výstup, který je snadno porovnatelný s ostatními výstupy a vhodně reprezentuje danou liniovou strukturu.

5.6. Analýza směrů

V rámci zmíněné extenze je možné vytvořit abstraktní znázornění orientace jednotlivých úseků povodí. Tímto způsobem je možné barevně odlišit jednotlivé úseky liniových prvků podle jejich orientace a pouhým pohledem poznat převládající směr v určeném regionu.

Pomocí funkce analýzy směrů byla říční síť povodí řeky Odry zmapována a jednotlivé úseky obarveny podle příslušných světových směrů. V rámci zachování přehlednosti bylo ponecháno bílé pozadí.



Obr. 23: Analýza směrů řeky Odry s barevně vyznačenými azimuty

Jednotlivé směry byly rozděleny do šesti hlavních kategorií podle orientace s postupným přechodem od azurové do modré a následně fialové barvy pro uchování přehlednosti. Z vizuálního posouzení je zřetelné, že v síti řeky Odry dominuje barva světle a tmavě modrá, které odpovídají azimutům 1 - 61 a 120 - 180, neboli SSV-JJZ až SV-JZ, resp. SZ-JV.

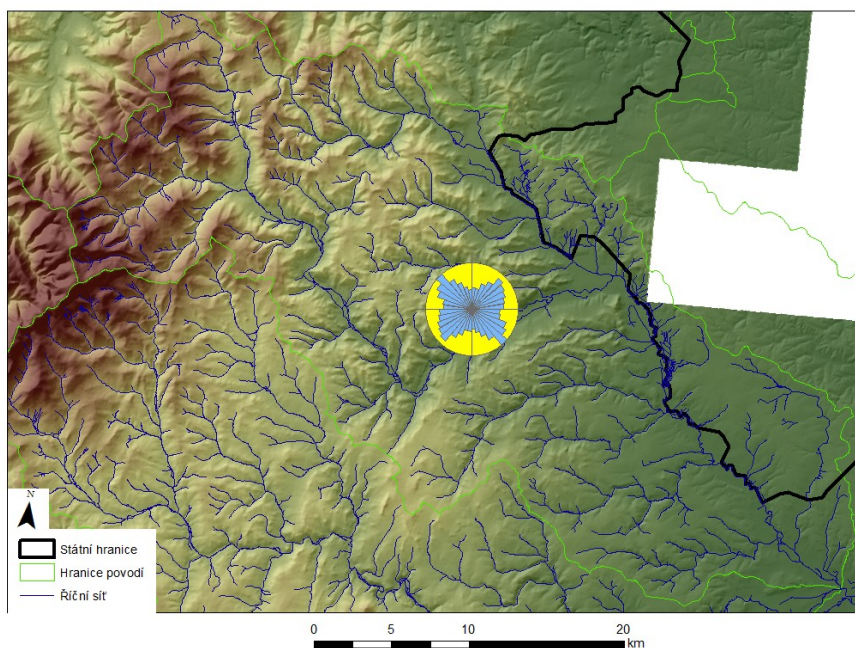
Takto vytvořená analýza směrů dokumentuje rozdíl mezi systémem hercynským a alpským s ohledem na říční síť. V karpatské podoblasti je výrazně odlišná orientace SSZ-JJV až S-J, která se v analýze projevila růžovou barvou. Dělicí linií obou cca 25° vzájemně natočených systémů je osa Moravské brány.

6. Směrová analýza dílčích povodí

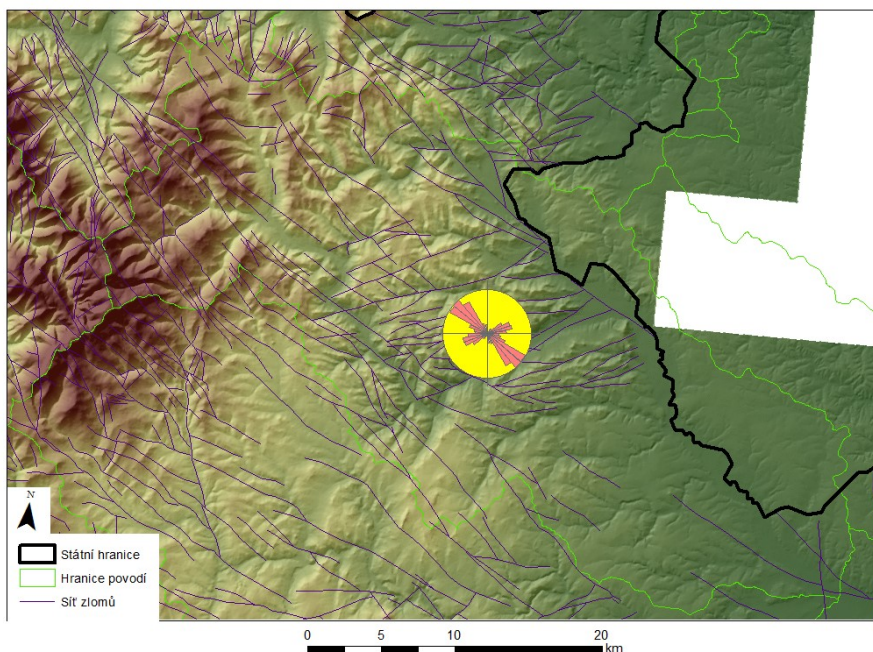
Analýza pomocí směrových růžic umožní vytvořit jednotný výstup pro hlavní orientaci liniových prvků. Tato analýza byla provedena jak pro říční síť, tak pro síť zlomů a ve dvojicích byly tyto analýzy porovnány a následně byla určena míra jejich závislosti.

6.1. Analýza povodí řeky Opavy

Povodí řeky Opavy se vyznačuje dominantním směrem SZ-JV, který odpovídá sklonu terénu k závěrovému profilu. Tento směr koresponduje s totožnou dominantní sítí zlomů a puklin v oblasti. V oblasti se také vyskytuje druhotný SV-JZ směr zlomové sítě, který má na říční síť v povodí řeky Opavy významný vliv.



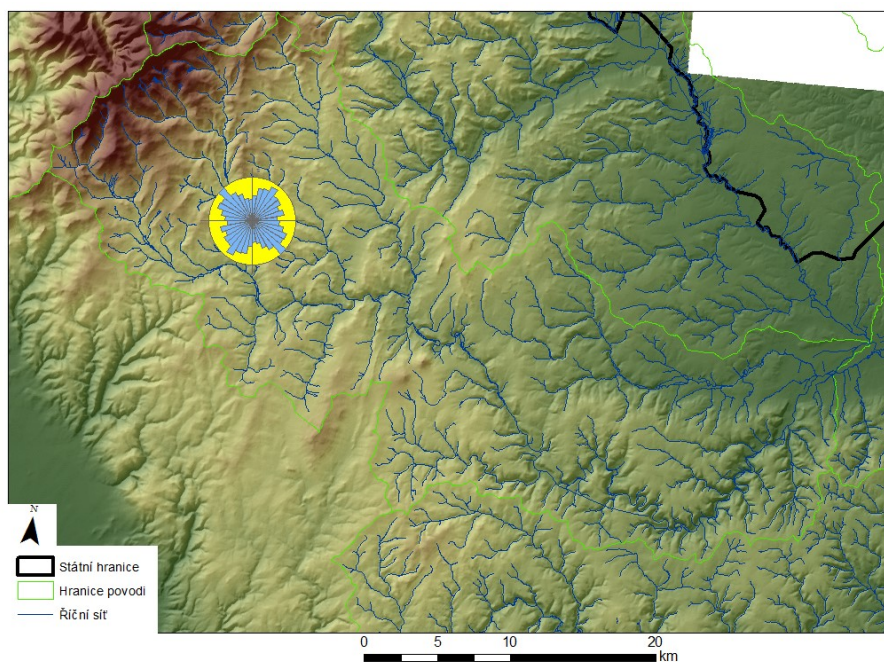
Obr. 24: Analýza říční sítě v povodí řeky Opavy



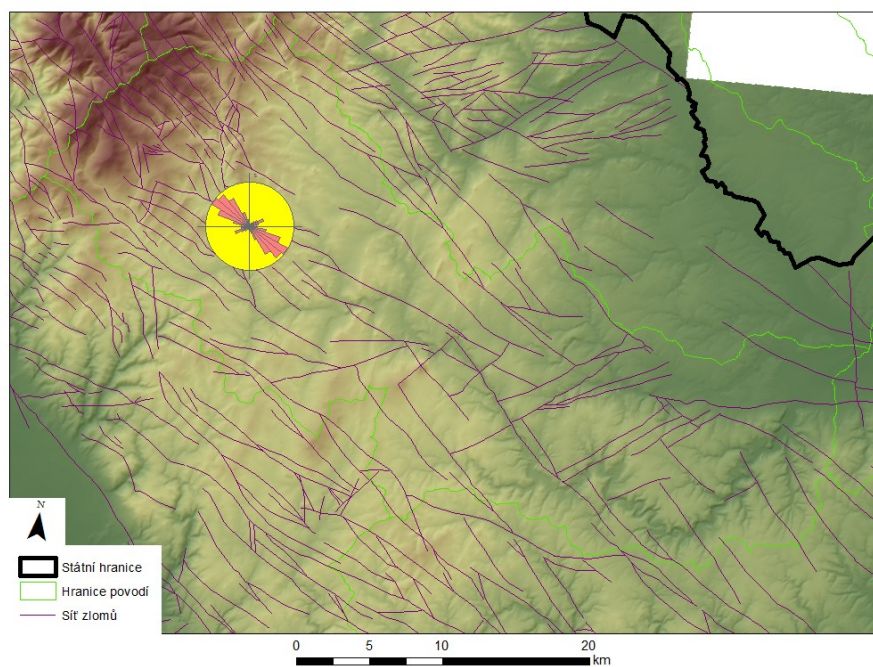
Obr. 25: Analýza zlomů v povodí řeky Opavy

6.2. Analýza povodí řeky Moravice

Říční síť řeky Moravice má dominantní směr SZ-JV, který odpovídá sklonu terénu k Moravské bráně. Síť zlomů má výrazné maximum ve směru SZ-JV s kterým koresponduje dominantní směr říční sítě. Ta vykazuje, vedle dvou výrazných maxim (SZ-JV a SV-JZ až SSV-JJZ) výrazný směrový rozptyl, který vypovídá o složitosti tektoniky v regionu.



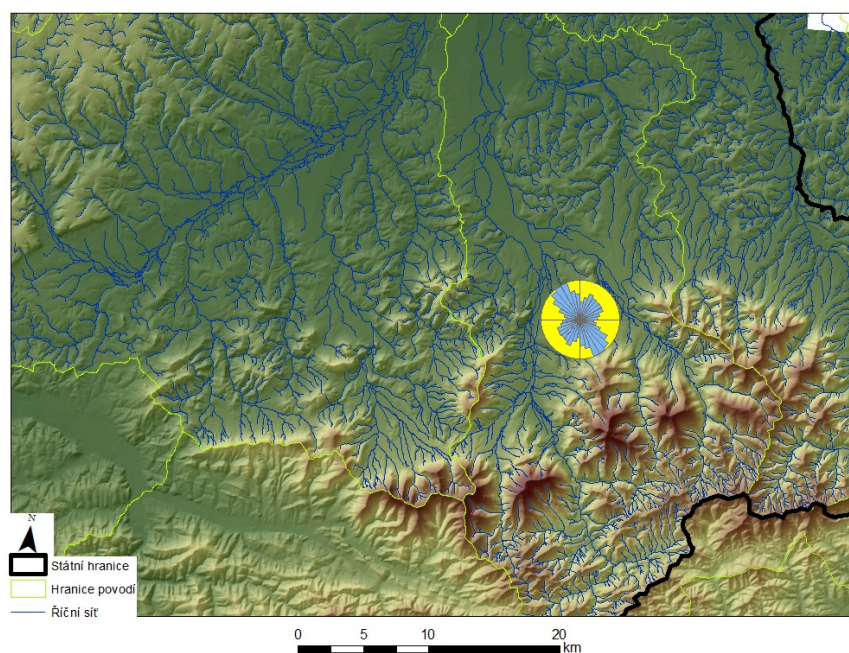
Obr. 26: Analýza říční sítě v povodí řeky Moravice



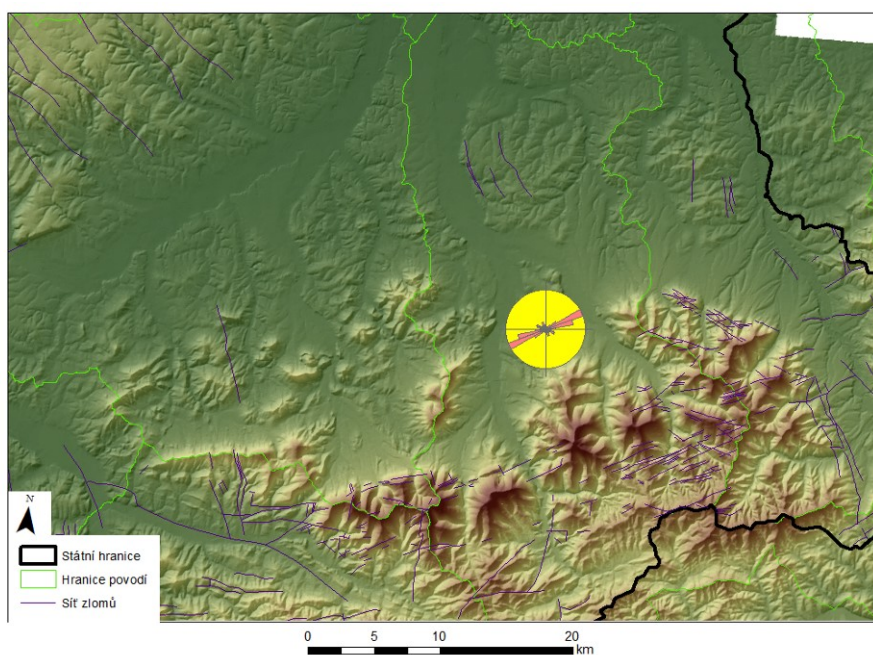
Obr. 27: Analýza zlomů v povodí řeky Moravice

6.3. Analýza povodí řeky Ostravice

Pro říční síť povodí řeky Ostravice, která je na rozdíl od povodí Opavy, celá lokalizována v karpatském systému, je dominantní směr SZ-JV až SSZ-JJV. Na rozdíl od variské části zájmové oblasti, její dominantní směr nemá ekvivaletní směr sítě zlomů. Tato skutečnost je především dána nedokonalou vektorizací zlomové sítě v beskydské části oblasti, kdy jsou směry křehké tektoniky (SZ-JV až S-J výrazně potlačeny).



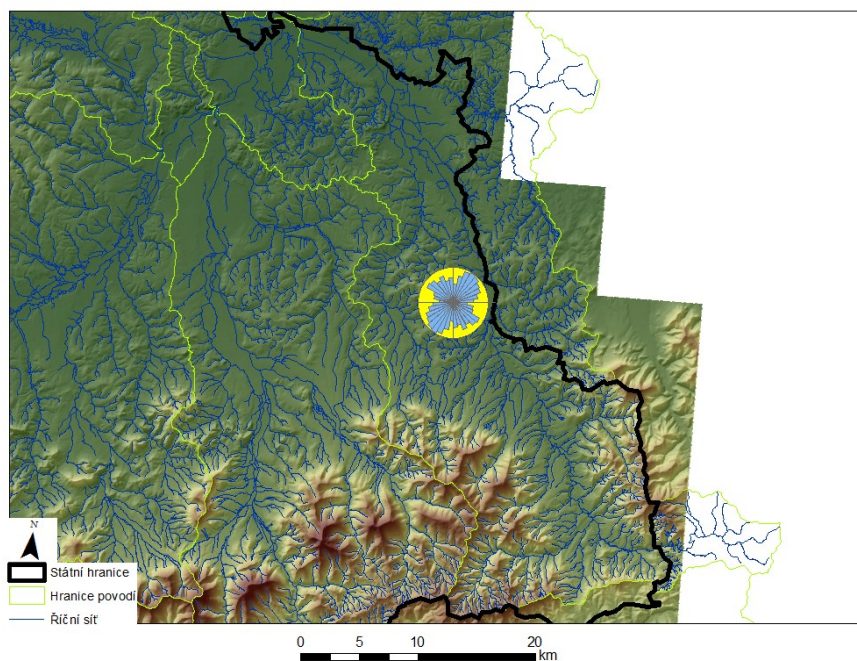
Obr. 28: Analýza říční sítě v povodí řeky Ostravice



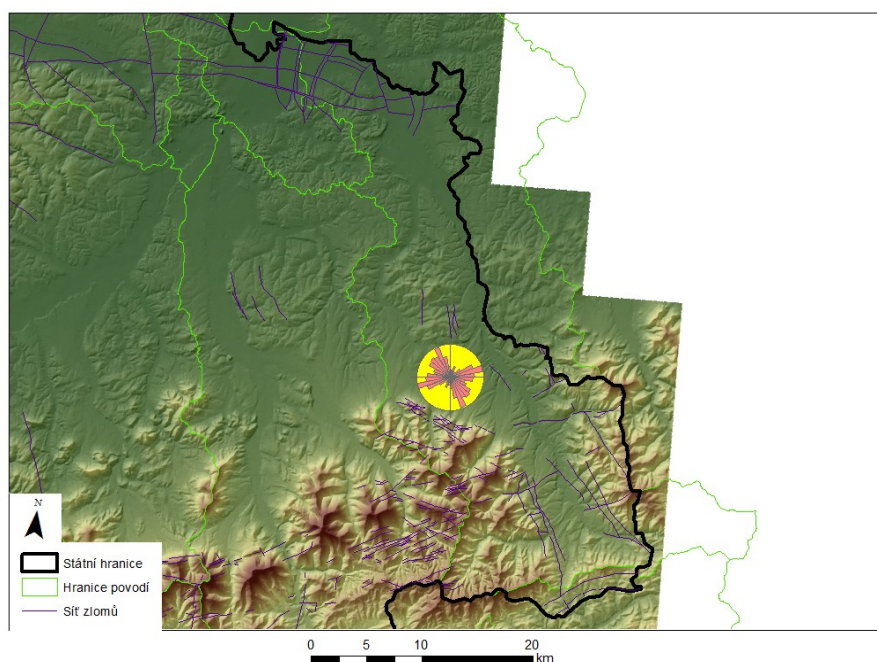
Obr. 29: Analýza zlomů v povodí řeky Ostravice

6.4. Analýza povodí řeky Olše

Říční síť povodí řeky Olše se vyznačuje dominantním směrem SV-JZ. Druhotný je směr SZ-JV. Oba systémy korespondují se sítí zlomů (viz obr. 31).



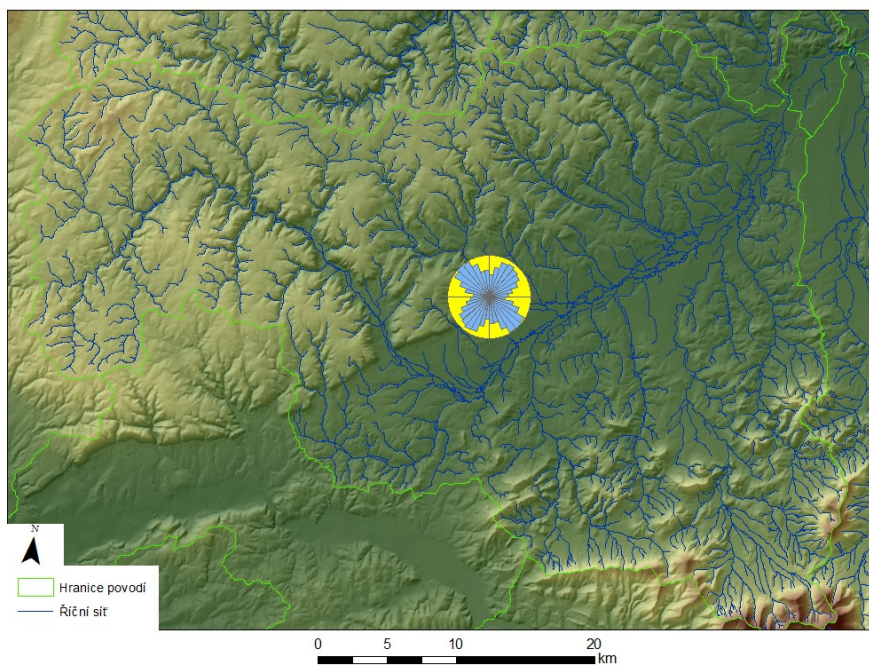
Obr. 30: Analýza říční sítě v povodí řeky Olše



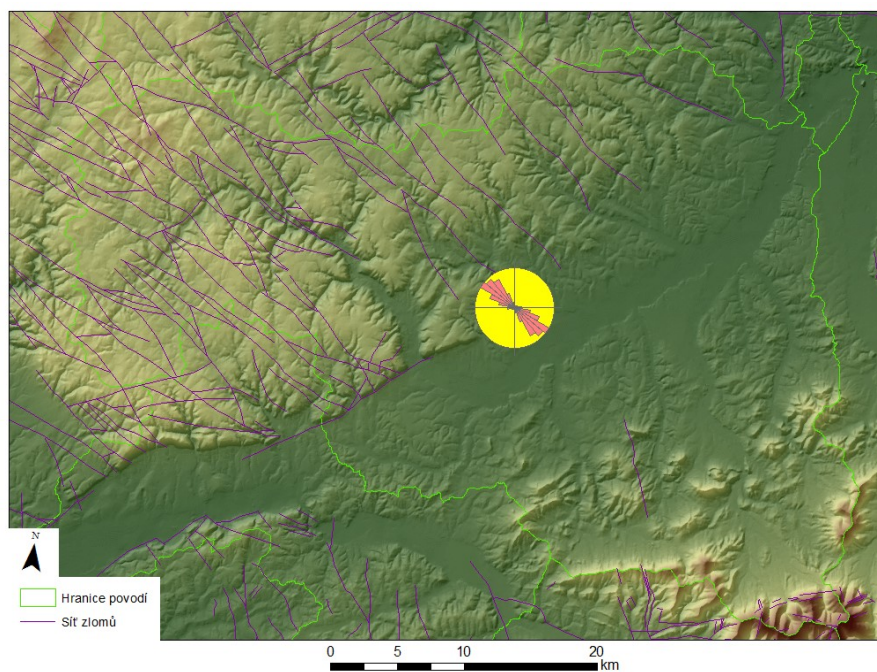
Obr. 31: Analýza zlomů v povodí řeky Olše

6.5. Analýza povodí řeky Odry

Říční síť povodí řeky Odry je podřízena dvěma dominantním směrům – SZ-JV s SV-JZ. Směr SZ-JV sleduje dominantní zlomovou síť v povodí.



Obr. 32: Analýza říční sítě v povodí řeky Odry



Obr. 33: Analýza zlomů v povodí řeky Odry

7. Interpretace dat

Pro oblast povodí řeky Odry byly vygenerovány směrové ružice pro liniové struktury zlomů a říční sítě. Ružice byly zvlášť vytvořeny jak pro síť zlomů v daném povodí, tak pro říční síť.

Zlomové sítě se liší podle typu orogenních pochodů v různých částech povodí Odry. Různí se pro variscidy moravosilezika a alpidy Vnějších Západních Karpat. Ve variscidech značně převládá síť zlomů se SZ-JV orientací. Tato tektonika je v oblasti dominantní a zcela převažuje nad ostatními. Ve variscidech se také vyskytuje zlomová síť se SSVJJZ orientací, odpovídající hlavnímu vrásovo-násunovému systému.

Zlomová síť tvoří obzvlášť v jesenické části významnou tektonickou strukturu. Například povodí řeky Opavy se vyznačuje výraznou sítí drobné tektoniky ve směru SZ-JV, ale také SSV-JJZ. To v plné míře platí např. pro říční síť řeky Opavy. Rozdílné je to povodí řeky Ostravice, na které mělo dominantní vliv alpinské vrásnění, které začalo koncem mezozoika, kde je na základě analýzy dominantní zlomová síť ve směru VSV-ZJZ (viz. obr 29). Směrová ružice říční sítě řeky Ostravice však vyznačuje dominantní směr SZ-JV a SV-JZ. V této oblasti jsou výraznější toky konsekventní.

Analýzou zlomové a říční sítě v povodí Odry bylo zjištěno, že flyšové sedimenty Vnějších Západních Karpat směr vodních toků ovlivňují značným způsobem. Variská podoblast povodí řeky Odry se vyznačuje pevnými sedimenty a metamorfovanými horninami, které jsou odolnější vůči vodní erozi. V této oblasti se vyskytují toky převážně subsekventní a sledují směr křehké tektoniky.

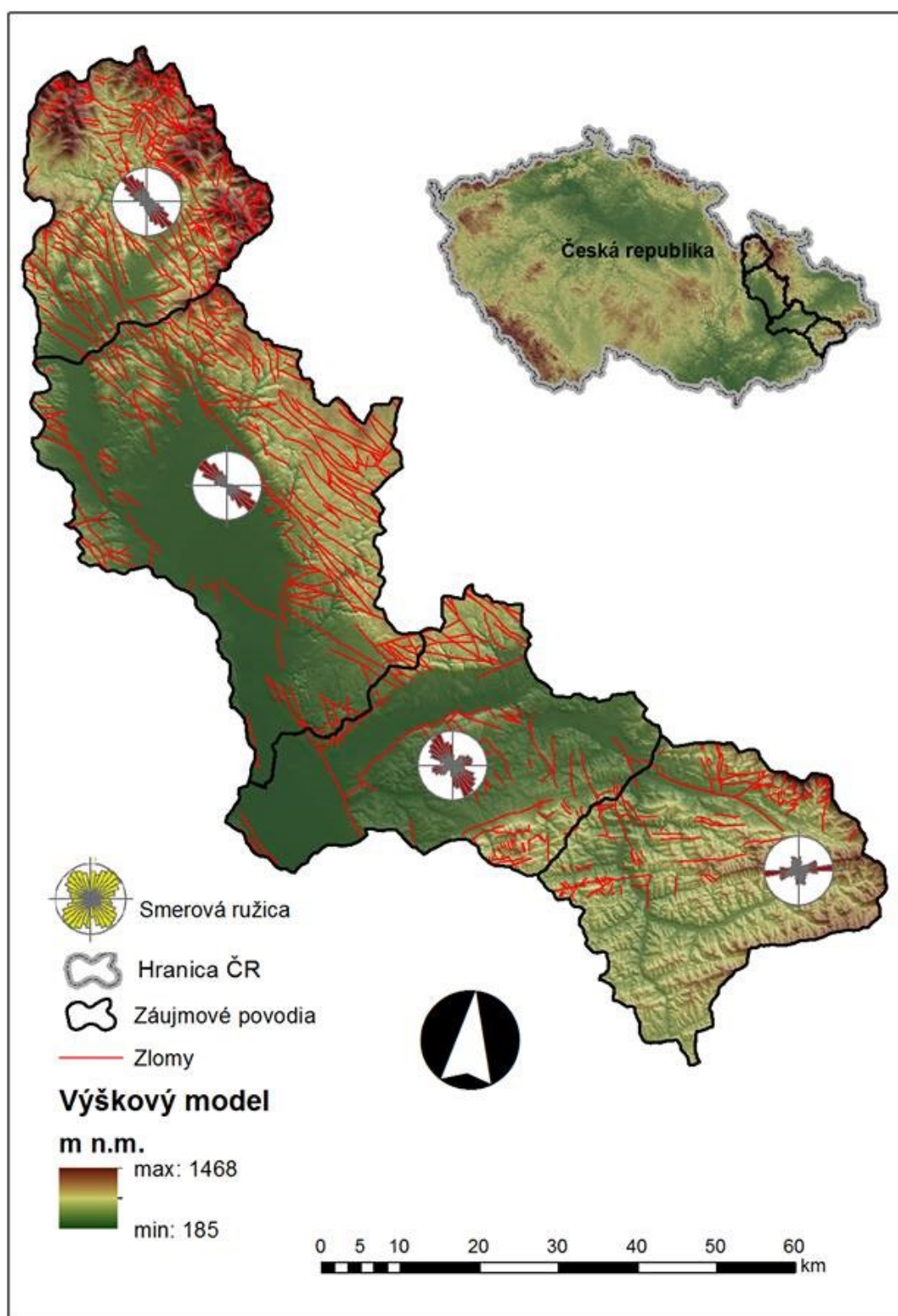
8. Závěr

V rámci této bakalářské práce byla pozornost věnována povodí Odry a to pouze na území České Republiky. Cílem práce bylo zjistit míru závislosti jemné tektoniky a zlomových sítí na říční síť v dílčích povodích. Víceúrovňovou analýzou bylo zjištěno, že na území obou geologických jednotek moravosilezika a Vnějších Západních Karpat se nachází rozsáhlá zlomová síť, která výrazně ovlivňuje podobu říční sítě. Tato síť se pro obě geologické jednotky značně liší (viz. obr 29). V obou částech se je rozdílná litologie. Karpatská podoblast je značně měkčí a skládá se z pískovců, zatímco Variská podoblast je tvořena pevnějšími sedimenty spodního karbonu.

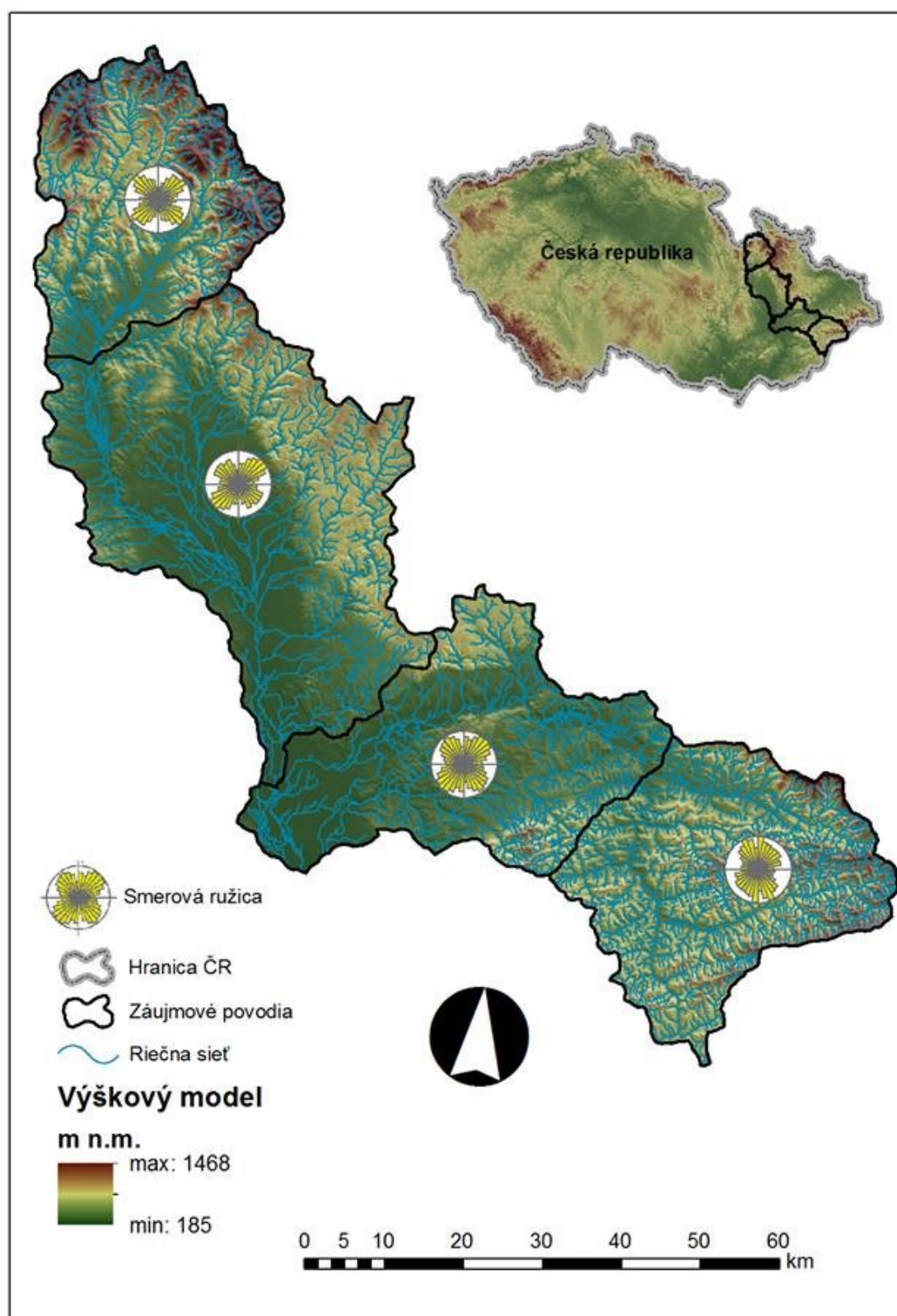
Pro úplnost je vhodné porovnat situaci na území povodí Odry a sousedního povodí řeky Moravy [9].

Analýza zlomové sítě na území řeky Moravy se vyznačuje dominantně ve směru SV-JZ. Tento směr je pro obě povodí totožný. V karpatské části povodí Moravy se také vyskytuje směr VSV-ZJZ, jehož intenzita je zásadně nižší než intenzita stejné orientace zlomů na povodí řeky Ostravice.

Analýzou výstupů z povodí řek Moravy a Odry bylo zjištěno, že se na území povodí řeky Moravy říční síť méně podřizuje síti zlomů.



Obr. 34: Výsledek analýzy zlomů na povodí řeky Moravy [9]



Obr. 35: Výsledok analýzy riečnej siete na povodí rieky Moravy [9]

Použitá literatura

- 1 BROSCHE, Otto, 2005. *Povodí Odry*. Ostrava: Anagram. ISBN 80-7342-048-1.
- 2 BURBANK Douglas W., ANDERSON Robert S., 2011. *Tectonic geomorphology*. Vyd. 2. Oxford: Wiley-Blackwell. ISBN 14-443-3887-0.
- 3 CHLUPÁČ, Ivo, 2002. *Geologická minulost České republiky*. Vyd. 1. Praha: Academia. ISBN 80-200-0914-0.
- 4 ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV. *Informační web ČHMU* [online]. 2015 [cit. 2015-03-17]. Dostupné z: <http://www.infomet.cz/>
- 5 DOPITA, Miloslav, 1997. *Geologie české části hornoslezské pánve*. Praha: Ministerstvo životního prostředí. ISBN 80-7212-011-5
- 6 GEOLOGICKÝ PARK. *Český masiv* [online]. [cit. 2015-2-6] Dostupné z: <http://www.parkgeo.cz/mapa.htm>
- 7 GRYGAR, Radomír a JELÍNEK, Jan. *Geomorfologie pro technické obory* [online]. [cit. 2015-03-01]. Dostupné z: <http://geologie.vsb.cz/geomorfologie/default.htm>
- 8 GRYGAR, Radomír. *Regionální Geologie České Republiky* [online]. 2015 [cit. 2015-02-04]. Dostupné z: <http://geologie.vsb.cz/>
- 9 HEGLAS, David. *Morfotektonická analýza povodí řeky Moravy*. Ostrava, 2015. Bakalářská práce. VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta Hornicko-geologická, Krajinne vodní hospodářství.
- 10 JELÍNEK, Jan; ARDIELLI Jiří.; JIRKA Jakub; KAJZAR Vlastimil, 2005: *Vývoj a aplikace programových extenzí ArcGIS pro účely strukturní a morfotektonické analýzy*. 1. vyd. Ostrava. Sborník vědeckých prací VŠB-TU Ostrava.
- 11 KACHLÍK, Václav, 2001. *Základy geologie*. Vyd. 2. Praha: Karolinum. ISBN 80-246-0212-1.
- 12 KACHLÍK, Václav, 2003. *Geologický vývoj území České republiky*, Praha: SÚRAO
- 13 MÍSAŘ, Zdeněk, 1983. *Geologie ČSSR I*. Vyd. 1. Praha: Státní pedagogické nakladatelství.
- 14 PLUMMER, Charles, 2005, *Physical Geology*, Vyd. 10. McGraw-Hill
- 15 POVODÍ ODRY. *Povodí Odry: Státní podnik* [online]. 2015 [cit. 2015-03-25]. Dostupné z: <http://pod.cz/>
- 16 PRESS, Frank, SIEVER, Raymond, 1998. *Understanding earth*. Vyd. 2. New York: W.H. Freeman. ISBN 0716728362.
- 17 REGIONÁLNÍ GEOLOGIE ČESKÉ REPUBLIKY. *Vnější Západní Karpaty* [online]. [cit. 2015-2-4] Dostupné z: http://geologie.vsb.cz/reg_geol_cr/10_kapitola.htm
- 18 ROTH, Zdeněk, 1980. *Západní Karpaty – terciární struktura střední Evropy*. Vyd. 1. Praha: Academia

Seznam obrázků

Obr. 1: Vymezení zájmové oblasti.	Strana 9
Obr. 2: Geologická stavba zájmové oblasti.	Strana 10
Obr. 3: Postavení Českého masivu v evropských variscidách.	Strana 12
Obr. 4: Oblast povodí Odry se znázorněným směrem akumulace povrchových zdrojů.	Strana 15
Obr. 5: Přehled srážek Leden 2014 – Červenec 2014.	Strana 16
Obr. 6: Erodovaný břeh Odry v Polanské nivě.	Strana 17
Obr. 7: Odra v Polanské nivě.	Strana 17
Obr. 8: Mrtvé rameno Odry v Polanské nivě.	Strana 18
Obr. 9: Odra severně od Ostravy – 1954.	Strana 18
Obr. 10: Odra severně od Ostravy - současnost.	Strana 19
Obr. 11: Dělení říčních sítí.	Strana 20
Obr. 12: Konsekventní a subsekventní vodní toky.	Strana 21
Obr. 13: DMÚ-25 s černobílým barevným přechodem.	Strana 23
Obr. 14: Stínovaný reliéf dílčího povodí.	Strana 24
Obr. 15: Kombinace hillshade a barevné škály.	Strana 25
Obr. 16: Orientace svahů povodí řeky Odry.	Strana 26

Obr. 17: Uživatelské rozhraní extenze Rose_Diagrams.	Strana 27
Obr. 18: Příklad analýzy zlomové sítě metodou směrové ružice.	Strana 28
Obr. 19: Diagram s délkou nejmenšího úseku 25 metrů.	Strana 29
Obr. 20: Diagram s délkou nejmenšího úseku 50 metrů.	Strana 29
Obr. 21: Diagram s délkou nejmenšího úseku 75 metrů.	Strana 29
Obr. 22: Diagram s délkou nejmenšího úseku 100 metrů.	Strana 29
Obr. 23: Analýza směrů řeky Odry s barevně vyznačenými azimuty.	Strana 30
Obr. 24: Analýza říční sítě v povodí řeky Opavy.	Strana 32
Obr. 25: Analýza zlomů v povodí řeky Opavy.	Strana 32
Obr. 26: Analýza říční sítě v povodí řeky Moravice.	Strana 33
Obr. 27: Analýza zlomů v povodí řeky Moravice.	Strana 33
Obr. 28: Analýza říční sítě v povodí řeky Ostravice.	Strana 34
Obr. 29: Analýza zlomů v povodí řeky Ostravice.	Strana 34
Obr. 30: Analýza říční sítě v povodí řeky Olše.	Strana 35
Obr. 31: Analýza zlomů v povodí řeky Olše.	Strana 35
Obr. 32: Analýza říční sítě v povodí řeky Odry.	Strana 36
Obr. 33: Analýza zlomů v povodí řeky Odry.	Strana 36

Obr. 34: Výsledek analýzy zlomů na povodí řeky Moravy.

Strana 39

Obr. 34: Výsledek analýzy říční sítě na povodí řeky Moravy.

Strana 40